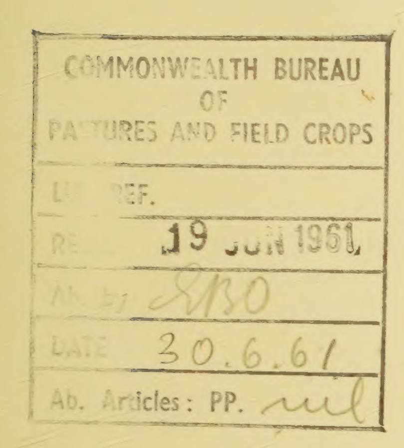
67e Année 1er Trimestre 1961 N° 1



ANNALES DE GEMBLOUX



ASSOCIATION DES INGÉNIEURS SORTIS DE L'INSTITUT AGRONOMIQUE
DE L'ÉTAT A GEMBLOUX

SOMMAIRE

Compte chèques-postaux n° 1660.59 : Association des Ingénieurs de Gembloux, 4, avenue des Narcisses, Bruxelles 18.

Compte courant n° 64.431 de l'Association à la Société générale de Belgique, à Bruxelles.

ABONNEMENTS : *Prix nets (+ taxe éventuelle).*

	Particuliers	Bibliothèques publiques et librairies
Belgique et Grand-Duché de Luxembourg ..	300 fr. ...	240 fr. ...
Congo	325 fr. ...	260 fr. ...
Autres pays	350 fr. ...	280 fr. ...
LE NUMÉRO :		
Belgique et Grand-Duché de Luxembourg ..	80 fr. ...	64 fr. ...
Congo	85 fr. ...	68 fr. ...
Autres pays	90 fr. ...	72 fr. ...

Les abonnements sont souscrits auprès du Trésorier de l'A.I.Gx., M. R. Lambion, 4, avenue des Narcisses, Bruxelles 18 (tél. 74.40.79)

Éditeur responsable : A. MOËS, 32, Avenue des Combattants, Gembloux.

ANNALES DE GEMBLOUX

67e Année. 1e Trimestre 1961. No 1

Colloque sur les scories Thomas

Organisé dans le cadre du centenaire de l'Institut agronomique de Gembloux, à l'occasion de la septième Réunion Internationale des Ingénieurs des Services Agronomiques des Producteurs de Phosphates Thomas.

Le 28 juillet 1960.

INTRODUCTION

A l'occasion des fêtes commémoratives du centenaire de la fondation de l'Institut agronomique, les Producteurs de Scories Thomas ont tenu à Gembloux la septième réunion internationale de leurs ingénieurs des services agronomiques.

Dans une allocution prononcée lors de l'ouverture de ce colloque, j'ai rappelé l'intérêt que Gembloux n'a cessé de porter aux études sur la fumure des plantes.

Déjà au siècle dernier, en 1872, il fut créé par ses professeurs une « Station expérimentale de Gembloux », reprise par l'État en 1883, et devenue actuellement « Station de chimie et physique agricoles ». Les noms de Petermann et de Grégoire, qui en furent les directeurs, sont connus dans le monde entier. En particulier les études sur les phosphates de ce dernier sont remarquables.

D'autre part, les scories Thomas sont un engrais largement utilisé en Belgique et leur emploi a permis l'extension de l'agriculture dans des régions pauvres comme la Campine et l'Ardenne. Sans scories, il est certain que l'Ardenne n'aurait pas atteint un développement de ses cultures, comme nous le connaissons.

Aussi est-ce avec satisfaction que l'Institut a accueilli les travaux du Colloque organisé par les services agronomiques des Producteurs de Phosphate Thomas. Il se réjouit que d'éminents professeurs comme notre collègue Martens de Gembloux, M. Lefèvre, Directeur honoraire de l'Institut National Agronomique de Paris et M. Atanasiu de l'Université de Giessen (Allemagne), aient accepté de présenter des communications à cette journée. Le développement des études de la fumure ne peut que favoriser l'économie de l'agriculture.

Prof. A. Lecrenier,
Prorecteur.

INSTITUT AGRONOMIQUE DE L'ÉTAT A GEMBLOUX
CHAIRE DE CHIMIE ANALYTIQUE

Vues sur la composition et les propriétés des scories Thomas

par

Pierre H. MARTENS.

Il n'y a pas encore un siècle que l'usage des scories de déphosphoration a pris place en phytotechnie, alors que l'idée de la restitution au sol des éléments fertilisants s'imposait depuis longtemps, mais que, faute de procédés industriels suffisamment développés, l'agriculture ne disposait que de produits naturels limités en quantité ou insuffisants en activité.

Particulièrement en ce qui regarde les matières phosphatées, n'étaient disponibles autrefois en masses, que les marnes et les craies phosphatées ou les phosphorites dont l'action fertilisante est généralement considérée comme faible.

I. ORIGINE DES SCORIES THOMAS.

Parmi les matières produites par la grosse industrie du XIXe siècle, figuraient des fontes, relativement riches en éléments indésirables, tels que le silicium, le soufre et le phosphore, en teneurs variables suivant l'origine des minerais utilisés.

Dès 1856, BESSEMER [3], par la mise au point du convertissage acide, éliminait de ces fontes les plus grandes parties du soufre et du silicium ; mais ce n'est qu'en 1876 que le phosphore des fontes phosphoreuses était éliminé de l'acier par le convertissage basique découvert par THOMAS [90].

L'invention du convertissage basique par THOMAS [13] fournissait une scorie relativement riche en phosphore, disponible en quantité élevée, considérée comme résidu de fabrication, susceptible d'intérêt.

Dès 1879 des licences de fabrication étaient cédées aux Forges d'Eich, Metz et Co [110] au Luxembourg, aux Rheinische Stahlwerke et Horder Verein [13] en Allemagne et à H. Schneider et H. de Wendel en France [110].

Texte remanié de conférences faites à la Section carolorégienne de la Société chimique de Belgique (Charleroi, 22.9.1959) et au Colloque des Ingénieurs des Services agronomiques des Producteurs européens de phosphate Thomas. (Gembloux, 28.7.1960).

Le 2 octobre 1879, la première coulée d'acier Thomas était réussie sur le Continent à Ilseden (Peine) [13].

Le pharmacien HOYERMAN que GRÉGOIRE [32] baptisa erronément *métallurgiste bohémien* à cause de son activité à Téplitz (Bohème) après 1895, avait monté en 1878 à Peine (Hanovre) un moulin pour broyer des phosphorites, qu'il vendait aux agriculteurs ; il fit contrat le 30 septembre 1880 avec la firme ILSEDER HÜTTE [41] à Peine pour livraison de 50 tonnes par mois de scories qu'il répandit sous le nom de phosphates de Peine. La collaboration de HOYERMAN avec les ILSEDER HÜTTE dura de 1878 à 1895 ; au cours de ces années, furent reconnues les propriétés fertilisantes des scories [38], l'influence de l'addition de sable au convertisseur pour l'amélioration des propriétés fertilisantes de la scorie [39] ainsi que l'influence d'un long délitage au parc sur les facilités d'une mouture fine qui permettait d'obtenir une matière douée d'activité fertilisante plus prononcée [40].

Au Luxembourg, la première coulée d'acier et de scories Thomas fut réalisée le 18 mars 1886 aux aciéries de Dudelange [110].

En Belgique, le premier convertisseur Thomas fut installé en 1880 à l'Aciererie d'Angleur [9].

II. COMPOSITION DES SCORIES THOMAS.

A. *Variations de composition dans le temps.*

Les premières analyses, publiées par HOLDEFLEISS [36] et PIEPER [68], pour une production qui, en 1885, atteignait déjà 134.000 tonnes, concernent une matière dont la teneur moyenne en anhydride phosphorique oscille aux environs de 18 %.

L'analyse fournit des résultats élevés en CaO, SiO_2, et Fe_2O_3 ; des doses variables en Al_2O_3, MgO et MnO.

La comparaison des anciens résultats d'analyse avec les résultats actuels montrent des divergences, sauf pour quelques éléments qui ne paraissent pas essentiels sur les modifications de propriétés : le *tableau I* donne un relevé de résultats sur les compositions comparées de scories anciennes et de scories actuelles.

Depuis les premiers temps de leur préparation jusqu'à nos jours, les scories ont varié de composition : il faut en rechercher les causes dans :

1° L'origine des minerais. Cette origine se répercute surtout sur la nature et la teneur en éléments mineurs.

2° Les procédés métallurgiques : Se marquent sur la composition des scories les effets des inclusions au convertissage : addition de grandes masses de chaux, de sable et de sels alcalins, soufflage à l'air enrichi en oxygène, récupération de métaux rares.

TABLEAU I.

Composition comparée des scories Thomas.

%	Scories Martin STUTZER [87] 1895	Scories Thomas — Scories allemandes — FLEISCHER [19] 1885	DE MOLINARI [56] 1903	Scories belges — DE MOLINARI [56] — 1883	1903	MASSINON [53] 1958
P_2O_5	11.44	17.25	19.51	15.51	13.41	18.27
CaO	40.86	48.29	51.54	54.90	44.66	47.75
SiO_2	14.31	9.62	6.56	9.10	7.78	7.91
FeO	—	9.44	—	—	—	
Fe_2O_3	17.85	3.78	} 14.39			16.48
Al_2O_3	—	2.04		5.98		1.76
				18.04	24.86	
MnO	5.58	3.91	—	—	—	—
MgO	9.98	—	—	—	—	2.21
S	—	—	—	—	—	0.11
V_2O_5	—	—	—	—	—	
V_2O_5	—	—	—	—	—	
CO_2	—		4.01	4.82	4.75	
CaO libre			8.48	9.93	6.52	

Parmi les éléments majeurs, le phosphore est naturellement celui dont l'importance paraît la plus grande : les teneurs en P_2O_5 se situent généralement entre 14 et 20 % ; cependant, on trouve des blocs dont la teneur est supérieure à cette valeur, mais ordinairement ils se trouvent répartis dans une masse plus pauvre.

Les variations de teneurs en chaux et en silice sont, à côté de celle en phosphore, les plus facilement observables : elles se situent :

pour CaO de 40 à 55 %
pour SiO_2 de 7 à 12 %.

Les teneurs en Fe et en éléments mineurs présentent une importance moins spectaculaire.

B. *Les rapports entre constituants élémentaires.*

En comparant les compositions de scories diverses, DICKENS et RADMACH-

TER [11] dressent un tableau de comparaison dans lequel les teneurs centésimales sont remplacées par une valeur relative qui varie de 1 à 10 *(Tableau II)*.

TABLEAU II.

Composition relative des Scories Thomas (relativité de 1 *à* 10*)* d'après DICKENS et RADMACHTER [11].

Aluminium	5	Étain	1	Potassium	2
Argent	1	Fer	8	Selenium	2
Arsenic	2	Fluor	1	Silicium	8
Baryum	1	Magnesium	5	Sodium	2
Bore	2	Manganèse	7	Soufre	4
Calcium	10	Molybdène	1	Titane	4
Chrome	3	Nickel	1	Vanadium	6
Cobalt	1	Oxygène	9	Zinc	1
Cuivre	2	Phosphore	9		
		Plomb	2		

On entend deux types de constituants élémentaires ; ceux dont la teneur est régulièrement élevée (Ca, P, Fe, Si, O) qu'on appelle des éléments majeurs et ceux dont la teneur est faible qu'on dénomme éléments mineurs ; DICKENS et RADMACHTER [11], en donnent une liste avec leurs teneurs centésimales moyennes *(Tableau III)*, qui concordent avec celles de RIEHM, SCHULTZE-GROBLEBEN et BARON [75].

TABLEAU III.

Teneurs moyennes en éléments mineurs
d'après DICKENS et RADMACHTER [11].

Aluminium	0,5 — 2 %	Magnésium	1.0 — 4.00
Bore	0.0014 — 0.0032	Manganèse	2.0 — 4.00
Cobalt	0.0005	Molybdène	0.0005
Chrome	0.19 — 0.22	Soufre	0.20
Cuivre	0.0018 — 0.0025	Titane	0.17
Germanium	0.001	Vanadium	0.5
Fluor	0.001 — 0.014	Zinc	0.03

Cette liste renseigne les possibilités de restitution aux sols des éléments mineurs indispensables à une production végétale saine.

La teneur en chlore varie de 0,05 à 0,70 % [53].

III. Structure des Scories Thomas.

La plupart du temps, les scories se présentent sous forme d'une masse amorphe de couleur brune plus ou moins foncée, présentant parfois quelque reflet bleuâtre, de densité variant de 3 à 3,2.

Dans les blocs on remarque parfois des poches d'air (souflures) dans lesquelles il arrive qu'on trouve des cristaux, si les blocs se sont refroidis lentement. Les parties refroidies rapidement sont denses et dures.

De petites pépites de fer métallique se rencontrent couramment et ne présentent pas d'intérêt sur les propriétés des scories.

Les cristaux dont il vient d'être question peuvent permettre de préciser quelques propriétés essentielles des scories. Découverts depuis longtemps, ils ont subi maintes analyses dont nous donnons les résultats *(Tableau IV)*.

La facile dissolution de ces cristaux dans l'eau chargée d'acide carbonique ainsi que dans les liqueurs d'acide citrique démontrerait qu'ils sont acceptables comme fertilisants.

Classées d'abord comme tétraphosphates de calcium, les scories doivent actuellement être considérées comme silicophosphates complexes. Les études thermiques montrent qu'il existe diverses possibilités :

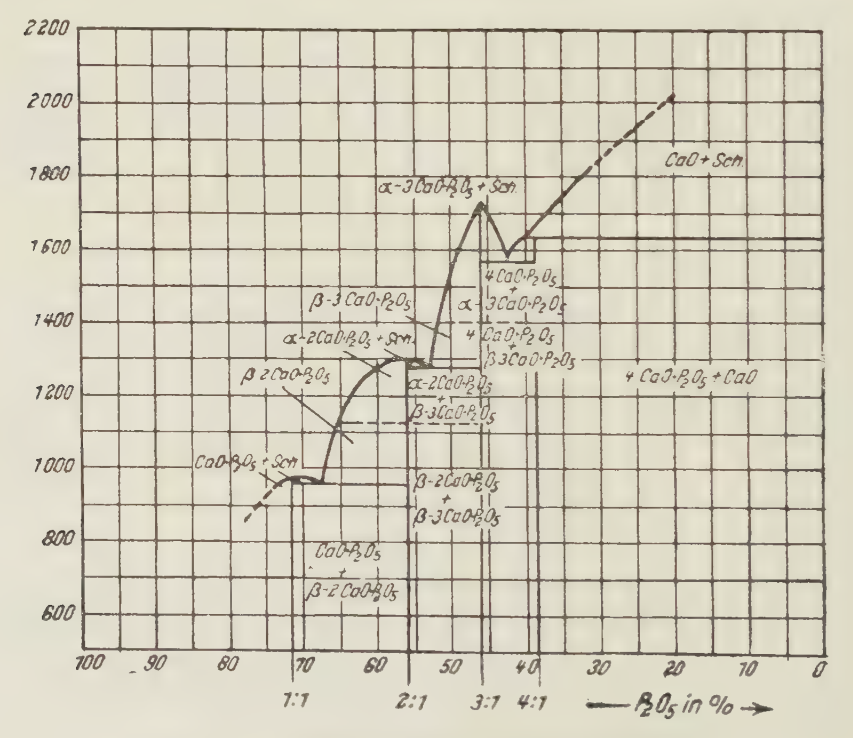


Fig. 1. — Le système $CaO-P_2O_5$ (d'après Trömel [93]).

TABLEAU IV.

Composition des cristaux.

Composition %	Tablettes rhombiques (incolores ou brunâtres)			Aiguilles hexagonales (incolores ou brunes)			Cristaux orthorhombiques (bleus)			
	CARNOT [7]	STEAD [85]	BUCHING [5]	HILGENSTOCK [33]	STEAD [25]	BUCHING [5]	CARNOT [7]	HILGENSTOCK [53]	BUCHING [5]	MORRISON [58]
P_2O_5	37.67	38.08	38.77	34.04	33.71	36.77	29.65	30.85	31.19	19.41
SiO_2	0.74	—	0.89	3.24	3.90	3.84	12.42	9.42	9.47	10.06
CaO	59.54	60.21	59.53	57.55	53.54	53.51	53.20	57.60	57.42	38.90
Fe_2O_3	—		—		4.86	1.78	—	—	—	
FeO	1.44	0.10 (FeO + Al_2O_3)	0.89 (FeO + Al_2O_3)	4.00 (FeO + Al_2O_3)	1.29	2.22	1.80	2.94	0.95	17.03
Al_2O_3	0.37				—	1.09	2.76	—	1.13	
MnO	—	—	—	—	0.79	—	—	—	—	
MgO	—	0.83	—	—	0.49	0.40	—	—	—	
VO_3	—	0.72	—	—	1.34	—	—	—	—	1.64
S	—	0.15	—	—	0.46	—	—	—	—	
Rapports										
CaO	4	4		19	17.6	15.2	5.5	6.5	6.4	
SiO_2	—	—		1	1	1	1	1	1	
P_2O_5	1	1		4.5	3.6	4.1	1.2	1.4	1.4	
Solubilité relative dans le citrate acide. d'après WAGNER	55 %			60 %			85 %			

1) *Le système* CaO-P_2O_5.

Les propriétés thermiques de ce système ont fait l'objet d'importantes études de HILL [34], TRÖMEL [92, 93, 94] et leurs collaborateurs : Les courbes du diagramme d'équilibre obtenu par TRÖMEL, plus étendu que celui de HILL, reprises en *figure 1* font apparaître qu'il existe un phosphate tétracalcique dont la cristallisation se produit à 1650° C, sans formation d'eutectique, lorsque le milieu contient plus de 44 % de chaux.

2) *Le système* CaO-P_2O_5-SiO_2.

En reportant dans un diagramme triangulaire les teneurs moyennes des scories en CaO, P_2O_5 et SiO_2, on constate que les points figuratifs se situent

dans un espace relativement limité *(figure 2)* qui fait apparaître que, s'il existe des composés définis dans les scories, ils possèdent une composition qui correspond sensiblement à la formule globale 5 CaO. P_2O_5. SiO_2.

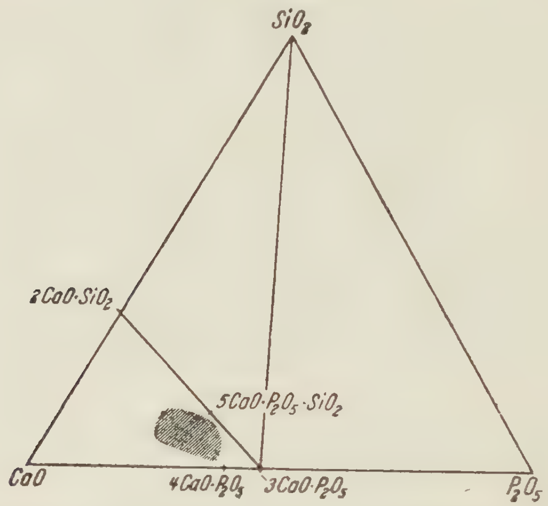


FIG. 2. — Position des scories dans le système à 3 éléments CaO-P_2O_5-SiO_2 (d'après TRÖMEL [93]).

Ailleurs nous avons vu que des cristaux ont été rencontrés, et que certains possèdent une composition qui n'est pas éloignée de celle qui s'envisage ici.

TRÖMEL [92, 93, 94] et ses collaborateurs ont étudié les propriétés thermiques du système 2 CaO. SiO_2-3 CaO. P_2O_5 et ont obtenu le diagramme d'équilibre donné en *figure 3*.

Par l'analyse röntgenographique furent décelés :

1. Des cristaux R dont la structure se rapproche de celle de cristaux retrouvés dans les phosphates Rhenania, obtenus par fusion, au four de cimenterie, de phosphorites et de silicates avec un fondant alcalin ;

2. Des cristaux en mélange K dont la structure présente des affinités avec celle du sulfate de potassium ;

3. Des cristaux S qui possèdent le même spectre X que la silico-carnotite = (5 CaO. P_2O_5. SiO_2).

Dans les scories les cristaux R sont les plus importants, mais les cristaux S sont les plus intéressants. Comme le montrent les courbes du diagramme, la formation des cristaux par refroidissement lent ou refroidissement rapide (trempe) présente des différences considérables : les cristaux S n'existent que dans les scories refroidies lentement.

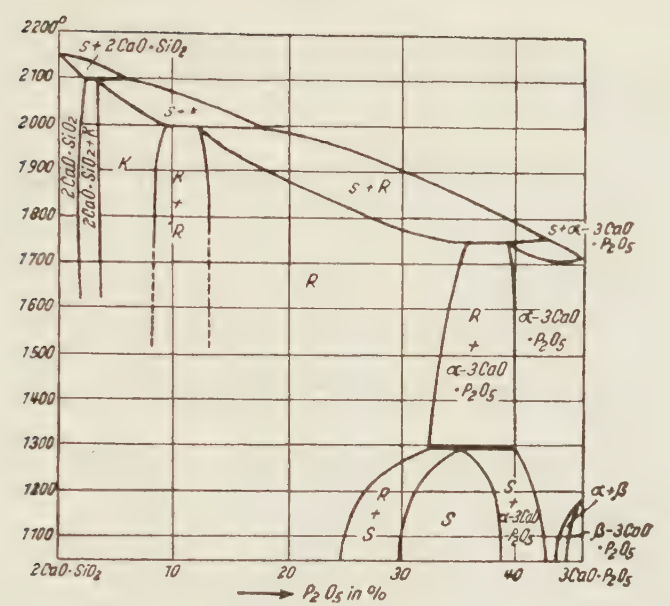


FIG. 3. — Courbes de 3 $CaO.P_2O_5$ — 2 $CaO.SiO_2$ dans le système CaO — P_2O_5 — SiO_2 (d'après TRÖMEL [93]).

Refroidies rapidement ou refroidies lentement, les scories peuvent présenter une solubilité élevée dans l'acide citrique de WAGNER [23], par contre, d'après TRÖMEL [93] la solubilité dans le citrate de PETERMAN [62] est supérieure pour les scories refroidies rapidement où les cristaux R prédominent.

Chez les scories pauvres en silice, un refroidissement brutal fournit aussi une phase S ; mais l'action de la trempe sur la solubilité est plus difficile à démêler, parce que les échanges entre phosphates et l'eau utilisée pour cette trempe semble jouer un rôle que l'air ne possède pas.

Enfin le refroidissement lent procure des facilités de mouture et explique l'attaque des dissolvants sur les scories à forte teneur en silice.

Cependant, d'après FÖRSTER [20], un refroidissement trop lent serait cause de possibilité de transformation des formes les plus solubles en formes moins solubles. Toutefois la plupart des métallurgistes belges reconnaissent qu'un refroidissement lent est plus apte à la production de scories à forte solubilité dans l'acide citrique suivant WAGNER.

IV. L'INTÉRÊT AGRONOMIQUE DES SCORIES THOMAS.

A) *Historique résumé de la fertilisation chimique* (TABLEAU V).

La restitution aux sols des éléments minéraux exportés par les récoltes a été proposée au cours des âges par de nombreux observateurs : PLINE [70] en fait déjà mention dans ses œuvres.

Cependant on reconnaît en général à LIEBIG [49] le mérite d'avoir répandu les idées d'une pratique rationnelle et d'avoir formulé dès lors des lois, que si elles sont jugées incomplètes à présent, ne sont pas moins à la base de nos actuels progrès.

Agé de 22 ans à peine, Justus LIEBIG [49] commençait en 1825, à l'Université de Giessen, un enseignement qui fut remarquable et à la suite d'un nombre impressionnant d'analyses de plantes cultivées, il concluait aux besoins d'une restitution aux sols des éléments minéraux principaux, tels l'azote, l'acide phosphorique et la potasse.

En 1840, LIEBIG [6] publiait son fameux traité « Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikulturchemie und Physiologie », dont la neuvième édition paraissait en 1876, trois ans après son décès à Münich où il s'était fixé en 1852.

Les idées de LIEBIG eurent à l'époque un retentissement considérable ; l'une d'elles consistait à proposer la mise en solution dans l'eau des phosphorites naturelles insolubles en les traitant par l'acide sulfurique.

En 1843 LAWES et GILBERT [48] mettaient à profit cette proposition et montaient à Rothamsted la première installation de fabrication des supers ; celle-ci, source de revenus considérables, fut à la base de la fondation de la Station Agronomique de Rothamsted (Harpenden) encore en activité.

On était donc alors à la recherche de sources de phosphates, aussi les inventions de BESSEMER [2] et de THOMAS [90] vinrent-elles à point. Encore fallait-il montrer que la nouvelle matière, résidu d'une fabrication qui se développait rapidement, faisait preuve de propriétés fertilisantes.

B) *Introduction des Scories en agronomie.*

Il semble que les premiers essais d'application directe des scories aient été réalisés par HOYERMANN [68] à Ilseden, comme il a été dit tantôt ; HOYERMANN [38] en reconnut les effets sur sols tourbeux et sablonneux dès 1885.

A la même époque, en Angleterre, WRINGTON et MUNO [109] trouvaient que les scories produites par la *Northeasten Steel Co* étaient susceptibles de provoquer d'importants accroissements de rendement à la dose de 500 kg/Ha en sols argileux et à la dose de 1.200 kg/Ha en sols crayeux.

Les premiers essais de WAGNER sont signalés le 7 novembre 1885 à la suite d'un rapport que présenta PIEPER [68] à la réunion des fabricants allemands d'engrais à Berlin, ils ne furent publiés qu'en 1886. WAGNER [97] trouvait que la transformation des scories en supers ou en phosphates précipités n'était pas une opération rentable parce que les scories sont facilement dissoutes par l'eau carbonique, alors que les phosphorites le sont très peu ; il avançait encore que l'acide phosphorique des scories valait 20 % de celui des supers pour l'orge et l'avoine en sols sablonneux ; enfin, il reconnaissait que la mouture augmentait considérablement la valeur culturale des scories et l'élevait à 45 % de celle des supers.

TABLEAU V.

Notes biographiques.

Justus S. LIEBIG	Darmstadt	12 mai 1903
	† Munchen	18 avril 1873
John B. LAWES	Rothamsted	28 décembre 1814
	† id	31 août 1900
Henry BESSEMER	Charlton	19 janvier 1813
	† London	15 mars 1898
Sydney Gilchrist THOMAS	Canonburg (London)	18 avril 1850
	† Paris	1 février 1885
Gerhard HOYERMANN	Hoeneggelsen	30 novembre 1835
	† Lohne	11 juin 1911
Paul WAGNER	Liebenau	7 mars 1843
	† Darmstadt	25 août 1930
Arthur PETERMANN	Dresde	14 juillet 1845
	† Gembloux	26 août 1902

C) *La solubilité des scories.*

WAGNER [97] prétendait qu'il existe une relation entre la valeur fertilisante d'un phosphate et sa facilité à se mettre en solution dans les liqueurs faiblement acides ; il adaptait ainsi les conceptions de WARRINGTON [106], de FRESENIUS [27], de PETERMANN [64] et de JOULIE [45] sur les phosphates mono et bicalciques en proposant d'estimer la valeur agricole d'une scorie par sa solubilité dans une liqueur de citrate ammonique acide.

La solubilité des scories Thomas dans l'eau pure est minime ; elle ne dépasse pas 0,2 milligramme par litre ; la présence de chaux libre dans la scorie s'oppose à la dissolution des phosphates.

Suivant PIEPER [68], la transformation de cette chaux en bicarbonate par l'eau carbonique, porte la solubilité à 35,5 mg. par litre, alors que la solubilité de l'apatite ne dépasse pas 11,2 mg/litre dans les mêmes conditions. La macération dans l'acide acétique à 1 % pendant 72 heures à 15° C fournissait au même auteur une solubilité relative de 36 à 50 % pour les scories alors que les coprolithes atteignaient à peine 10 %.

Par digestion au nitrate ou au chlorure ammonique on peut obtenir, aux dépens des scories, une matière exempte de chaux libre. De tels échantillons, après 7 jours de digestion dans l'eau fraichement bouillie nous ont donné [55], pour un rapport de une partie de matière dans 10.000 parties d'eau, des solubilités variant de 1,1 à 1,3 mg de P_2O_5 par litre.

MORRISON [58] rapporte que les cristaux de silicophosphates se dissolvent entièrement dans l'eau chargée d'acide carbonique, alors que REISS [73] avait

déjà avancé que le phosphate tétracalcique est plus facilement dissous dans l'eau carbonique que les phosphates tricalciques ou bicalciques.

Les acides minéraux forts, de concentration suffisante, dissolvent les scories ; dilués, ils ne les dissolvent pas toujours à froid ; il peut rester un résidu plus ou moins important. A chaud la dissolution est plus facile et plus complète, elle n'est toutefois totale que dans certaines conditions opératoires ; la silice se sépare alors en masse gélatineuse.

Les cristaux tabulaires, expérimentés par OTTO [60] montraient une facile solubilité dans HCl et HNO_3 dilués, dans l'acide acétique et le citrate ammonique acide.

V. La méthode de Wagner.

A) Le principe de Wagner.

La liqueur de citrate d'ammoniaque et d'acide citrique proposée dès 1886 par WAGNER [97] comme critère d'appréciation de la solubilité des scories connut des fortunes diverses : nombreux furent ceux qui avancèrent que la proportionnalité prétendue entre la valeur fertilisante et la solubilité relative dans ce réactif était loin d'être contrôlée.

MAERKER [51, 52] rapporte que l'acide phosphorique des scories vaut 56 % de l'acide phosphorique soluble dans l'eau dans certains essais, 65 % dans d'autres, voire enfin 95 % dans d'autres encore ; aussi, avec raison, PETERMANN et GRAFTIAU [66] concluent au manque de proportionnalité entre la valeur culturale et la solubilité dans le citrate acide.

Le problème se noue donc : quelle relation existe chez les scories entre la valeur agricole, lente et difficile à déterminer, et leurs possibilités de dissolution dans un réactif, facile à préparer et rapide à utiliser.

Jusqu'en 1889, faute de mieux, on admet le citrate acide de WAGNER alors que celui-ci reconnaît [100, 101, 102] qu'il existe de grandes différences entre scories ; celles qui possèdent les plus fortes teneurs en silice sont les plus facilement dissoutes : confirmation d'une constatation de HOYERMANN [38] qui, en ajoutant du sable au convertisseur, élevait la solubilité jusqu'à totalité.

Et que fallait-il faire, lorsque la solubilité devenait telle que l'acidité du réactif était entièrement consommée ?

B) L'actuelle méthode de Wagner.

Après ses premiers essais, WAGNER [104] proposait en 1899 l'usage d'une liqueur d'acide citrique à 2 % comme réactif d'évaluation de la valeur des scories ; c'est sa troisième méthode, elle est encore en usage aujourd'hui.

Cette méthode de WAGNER est essentiellement une méthode d'extraction. Dans un ballon (de forme STOHMANN) on introduit 5 grammes de scories et

500 ml. d'acide citrique à 2 %. On agite au culbuteur mécanique (40-45 tours / minute) pendant 30 minutes à la température de 18° C, on filtre aussitôt et dans le filtrat on dose P_2O_5 par un procédé convenable.

La méthode possède un caractère arbitraire et absolument conventionnel : tous les facteurs qui peuvent influencer la dissolution doivent être reconnus de manière à pouvoir être reproduits semblables à eux-mêmes dans les mêmes conditions expérimentales ; les variations des facteurs sont susceptibles de provoquer des discordances entre résultats.

En fait la méthode à l'acide citrique à 2 % dose, en moyenne, 1 % de P_2O_5 en plus que la méthode au citrate acide.

C) Les facteurs de la solubilité citrique.

1. *Facteurs relatifs à la scorie.*

a. *Le procédé de fabrication.*

Les scories Martin dont la composition n'est pas très éloignée de celle des scories Thomas *(Tableau I)* sont réputées non fertilisantes. Stutzer [87] l'affirme dès 1891, cependant Robertson [77] avance que la valeur des scories peu solubles approche de celle des scories plus solubles, lorsque les sols sont acides et que les précipitations atmosphériques sont importantes.

Nous avons signalé, plus avant, les observations de Hoyermann [39] sur l'addition de sable au convertisseur. Ajoutons-y celles de Einlander et Roeser [6], qui, étudiant l'influence du souflage à l'oxygène, limitaient sa concentration à 28-35 % (dans l'air 21 %) avec un bénéfice de 2 à 3 % sur la solubilité relative de la scorie produite.

b. *La composition.*

Wagner reconnut aussi que les scories produites par addition de sable au convertisseur, possèdent une solubilité plus élevée ; observation qui tendit à substituer l'usage de l'acide citrique à 2 % au citrate acide qui ne contenait que 1,4 % d'acide libre, et se trouvait rapidement neutralisé.

Lorsque, la teneur en silice atteint une valeur telle que le rapport SiO_2 / P_2O_5 % = 0,3, la solubilité reste maxima comme l'a démontré Dunkel [14] et l'a confirmé Trömel [93].

Mais, si l'addition de sable au convertissage permet d'améliorer la solubilité citrique de la scorie, une addition trop forte se recommande difficilement parce qu'elle exige une élévation de la température du bain de fusion que Willems [107] a chiffré être égale à 16° C par % de sable.

En fait, d'après Gericke [25], la teneur optimum en SiO_2 se situe vers 8 à 9 %, mais les teneurs en CaO et en P_2O_5 marquent aussi quelqu'influence.

Enfin parmi les éléments dont la présence provoque une diminution de solubilité, GERICKE et KURMIES [28] signalent le fluor, pour autant que sa teneur dépasse 200 ppm, ce qui est heureusement rare.

c. *La vitesse de refroidissement.*

La phase S n'existe que dans les scories à refroidissement lent. Pour des scories de même composition, les différences de structure ne paraissent pas influencer la solubilité dans l'acide citrique, mais il en va autrement pour la solubilité dans le citrate de PETERMANN qui est favorisée par le refroidissement rapide (TRÖMEL [93]).

d. *La finesse de mouture.*

HOFFMEISTER [35] a montré que les grosses, les moyennes et les fines particules d'un même échantillon de scorie, n'ont pas nécessairement la même composition et, partant, que leur solubilité relative est sujette à différence.

Dans l'examen de parties séparées sur deux échantillons, nous obtenions les valeurs mentionnées au *tableau VI*, pour des durées d'agitation variables, les autres conditions opératoires restant celles qu'impose le procédé de WAGNER.

TABLEAU VI.

Influence de la finesse sur la solubilité relative.

Finesse	Solubilité relative					
	n° 133			n° 134		
	t = 10′	30′	1h	t = 10′	30′	1h
Passe au tamis 200	99.	100.	100.	98.7	99.5	99.7
Refusé au tamis 200 passe au tamis 100	85.7	98.	99.5	94.5	99.5	99.7
Refusé au tamis 100 passe au tamis 50	62.	88.	97.5	71.2	91.5	93.8

2. *Facteurs relatifs au dissolvant.*

a. *Le choix de l'acide.*

Des acides-alcools les plus courants, l'acide citrique est celui qui produit la dissolution la plus constante et c'est celui dont le prix de revient est le plus bas. L'acide malique coûte horriblement cher. L'acide tartrique forme avec la chaux un tartrate peu soluble qui entrave l'action du dissolvant. L'acide lactique possède une action semblable à celle de l'acide citrique, mais son emploi est moins commode et son prix est plus élevé que celui de l'acide citrique.

Les essais de SIROT et JORET [82] ont montré une action égale des acides malique et citrique contre une action plus forte de l'acide lactique ; mais les auteurs omettent malheureusement de fixer leurs lecteurs sur les concentrations de leurs solutions.

Agitant 1 gr de scorie avec 1 gr d'acide citrique dissous dans 100 ml d'eau ou bien un même volume d'autres acides en doses équivalentes, SUTHERST [88] obtenait, avec une scorie à 13,01 % de P_2O_5 total, les taux de solubilité suivants Acide acétique : 63,5 % $<$ Acide tartrique : 96,8 % $<$ Acide citrique : 99,3 %.

De notre côté, [55] en utilisant des liqueurs acides équinormales (0.2857 N) dans les conditions expérimentales requises par WAGNER, nous obtenions la gradation moyenne suivante :

Acide oxalique $<$ tartrique $<$ acétique $<$ malique $<$ citrique.

b. *La concentration en acide citrique.*

Le citrate acide de WAGNER contenait 1,4 % en acide citrique libre. C'est pour éviter la neutralisation de la liqueur par dissolution des principes alcalins des scories que WAGNER a porté la concentration de son dernier réactif à 2 % en acide citrique.

Les variations de résultats sont d'ailleurs spectaculaires comme peuvent le montrer les quelques résultats inédits du *tableau VII* [55].

TABLEAU VII.

Influence de la concentration en acide citrique,

5 gr de scories et 500 ml de liqueur.

N°	% P_2O_5 total	P_2O_5 dissous		
		H_3Ci 1 %	H_3Ci 2%	H_3Ci 3%
91	19.85	15.40	18.95	—
95	21.15	17.40	19.90	20.85
96	21.75	18.55	20.40	21.35
131	18.50	14.00	17.50	17.85
100	18.10	13.00	15.13	15.90

En comparant la solubilité d'une scorie en fonction de la concentration en acide citrique pour de faibles concentrations, GISIGER [30] obtenait en agitant 2,5 gr de matière dans 500 cc de liqueur, des chiffres que le *tableau VIII* rapporte.

TABLEAU VIII.

Influence de la concentration en H_3Ci.

H_3Ci %	P_2O_5 %	H_3Ci %	P_2O_5 %
0	0	1.2	17.4
0.2	8.95	1.4	17.6
0.4	16.04	1.6	17.4
0.6	17.44	1.8	17.6
0.8	17.44	2.0	17.6
1.0	17.64		17.4

Quoique ces résultats ne correspondent pas aux normes de la méthode de WAGNER ils ont le grand intérêt de montrer, que dans le cas envisagé par l'auteur, la dissolution était atteinte lorsque la quantité d'acide atteint 3 gr pour 2,5 gr de scorie, soit 1,20 gr d'acide citrique par gr de scorie ; mais la régularité obtenue par GISIGER est loin d'être générale.

c. *La variation du volume dissolvant.*

En agitant 5 gr de scories avec des volumes croissants de liquide contenant tous 10 gr d'acide citrique cristallisé : les résultats furent ceux que donne le *tableau IX* [55].

TABLEAU IX.

Solubilité en fonction du volume de liqueur.

N°	P_2O_5 total	P_2O_5 dissous				
		V = 400 ml	V = 500 ml	V = 66 ml	V = 800 ml	V = 1000 ml
91	19.85	—	18.95	—	—	18.95
92	16.10	13.48	13.62	13.50	13.60	13.60
95	21.15	19.76	19.80	19.82	19.76	19.80
100	18.10	—	15.20	—	—	15.13

Il apparaît ici que la dissolution d'une scorie exige une quantité d'acide citrique relativement constante pour un même échantillon : le volume de la solution possède une faible importance.

d. *La présence de sels étrangers.*

α. Présence de sels neutres.

Certains ont attribué une action plus dissolvante à l'acide citrique en présence de sels neutres, tels que les sels potassiques (scories potassiques). Cette observa-

tion s'explique, dans quelques cas, suivant FISCHER [18] par le fait que dans semblables cas, le rapport de la scorie à la masse du réactif est plus faible que celui qui doit se réaliser dans la méthode de WAGNER et laisse ainsi quelque prépondérance supplémentaire à l'action du réactif.

β. Présence de citrates.

Les citrates tamponnent les liqueurs d'acide citriques. En fait seul le citrate de calcium présente quelqu'intérêt puisqu'il est normalement formé pendant la dissolution.

FÖRSTER [22] avait déjà constaté une divergence d'action entre le citrate de WAGNER à 1,4 % d'acide libre et une liqueur à 1,4 % d'acide citrique *(Tableau X)*.

Nous avons montré plus tard [54] que, sur les scories, l'action du citrate de calcium en solution saturée dans l'acide citrique, est à considérer comme minime, il n'existe donc pas de ralentissement d'activité du dissolvant, comme il se constate avec les phosphates tricalciques.

TABLEAU X.

Comparaison du citrate ammonique de WAGNER *et d'une liqueur à* 1,4 % *d'acide citrique* (d'après FÖRSTER [27]).

N°	P_2O_5 total	P_2O_5 dissous	
		Citrate Wagner	H_3Ci à 14%
Scorie n° 1	20.69	7.92	9.13
2	19.58	10.29	11.42
3	16.81	6.48	7.13
4	18.82	12.49	13.10
5	17.63	6.98	7.54
6	16.66	12.68	13.20
7	13.94	13.28	12.70
8	17.94	16.06	15.03

Comparant ces deux opinions, nous constatons que les actions des réactifs diffèrent dans les cas où les scories sont peu solubles ; il est vraisemblable que sur les scories actuelles ces divergences seraient peu marquées.

e. *La température du réactif.*

WAGNER recommande d'utiliser le réactif à la température de 17,5° C, mais comme il n'est pas toujours facile de stabiliser cette température, il conseille de faire l'agitation de telle façon que la moyenne des températures initiale et terminale, soit de 17,5° C ; il a en effet constaté de légers écarts dans les résultats

lorsque la température variait : l'écart moyen vaut 0,03 % de P_2O_5 pour chaque degré de température [105], l'élévation de température favorisant la dissolution, le refroidissement le faisant rétrograder.

HOLLE [37] avait donné comme résultat de ses essais une valeur de 0,034 % par degré de température.

f. *Les liqueurs diverses de citrates ammoniques.*

Quoique très critiquée, la première méthode de WAGNER fut admise par l'Association des Stations agronomiques allemandes jusqu'au jour où elle adopta la troisième méthode de WAGNER (acide citrique à 2 %) à cause des difficultés rencontrées dans la préparation exacte du réactif, dans son emploi et à cause des divergences de vue concernant sa valeur.

Alors que WAGNER recommandait un citrate à 1,4 % d'acide libre, SCHEIBLER [108] utilisait un citrate à 1 % d'acide libre et PETERMANN [65] employait pour les supers et les phosphates précipités un citrate à 1 % d'ammoniaque libre.

Une comparaison de ces deux derniers réactifs sur diverses scories fut faite par WRAMPELMEYER [108] qui donne les chiffres repris au *tableau XI.*

TABLEAU XI.

Comparaison des citrates de SCHEIBLER *et de* PETERMANN, *d'après* WRAMPELMEYER [108]).

P_2O_5 total	P_2O_5 dissous	
	SCHEIBLER	PETERMANN
21.06	8.98	1.76
15.60	8.58	2.80
16.00	7.52	3.12
16.00	4.54	1.76
14.80	6.72	2.00

Les scories Thomas sont peu solubles dans les liqueurs alcalines de citrates, alors que leur solubilité est notable dans les mêmes liqueurs acides.

CASALI [8] signale un exemple d'analyse d'un même échantillon suivant PETERMANN et suivant WAGNER ; les résultats étaient :

P_2O_5 suivant PETERMANN : 6,4 %
» » WAGNER : 12.16 %.

Sur les scories actuelles les mêmes divergences entre les deux méthodes sont encore constatées ; mais, en fait, seuls les laboratoires danois, qui n'ont pas officiellement adopté la méthode de WAGNER, tendent à appliquer la méthode

de PETERMANN aux scories, alors que son auteur ne l'a jamais recommandée pour ce genre d'examen.

Les résultats qu'obtint GRAIRE [31] sont intéressants : en agitant 2 gr de scorie pendant 1 heure avec 80 ml de citrates d'alcalinités diverses ou d'acidités diverses (chaque citrate est à base de 400 gr d'acide citrique par litre et est additionné d'une quantité plus ou moins importante d'ammoniaque). Les résultats sont reportés au *tableau XII*.

TABLEAU XII.

Citrates d'acidités et d'alcalinités variables, (d'après GRAIRE [31]).

Composition du réactif gr/litre		P_2O_5 %	
NH_3 libre	H_3Ci libre	Total	dissous
55.7	—	17.40	5.95
22.5	—	»	8.12
11.2	—	»	9.68
0	0	»	15.13
—	79.8	»	15.42
—	143.5	»	15.64
—	247.8	»	15.85

La brusque transition aux environs de la neutralité est remarquable : elle est suivie d'une augmentation peu sensible des résultats qui n'atteignent jamais la valeur totale malgré la forte acidité finale du réactif.

D'ailleurs en faisant varier la prise d'essai agitée pendant une heure avec 80 ml de citrate, l'un exactement neutre (citrate de FRESENIUS à base de 188 gr d'acide citrique par litre), l'autre alcalin (citrate de JOULIE à base de 400 gr d'acide citrique par litre) : il obtint avec une scorie à 17,40 % de P_2O_5 total les résultats repris au *tableau XIII*.

TABLEAU XIII.

Action d'un citrate neutre et d'un citrate alcalin, (d'après GRAIRE [31]).

Prise d'essai	Citrate neutre		Citrate alcalin	
	P_2O_5 gr.	P_2O_5 %	P_2O_5 gr.	P_2O_5 %
0.5 gr.	0.0671	13.42	0.0268	5.36
1.0	0.0873	8.73	0.0402	4.02
1.5	0.0904	6.02	0.0480	3.20
2.0	—	—	—	—
2.5	0.0767	2.958	0.0542	2.18
5.0	0.0545	1.09	0.0610	1.22
7.5	0.0577	0.77	0.0675	0.90

L'action de la prise d'essai se marqua par une régression dans la dissolution, alors qu'avec le citrate alcalin la dissolution croît, mais d'autant plus lentement que la prise d'essai augmente, les deux courbes se recoupent vers l'abcisse correspondant à 4,5 gr comme prise d'essai.

3. *Facteurs relatifs à la technique.*

a. *L'influence des masses.*

Trois facteurs variables sont à considérer dans des actions réciproques : la quantité d'acide citrique, la quantité de scorie et la quantité de solvant véhiculaire.

Les effets de la variation du volume véhiculaire et de la concentration en acide viennent d'être envisagés.

Les effets de la variation de la quantité de scorie sont étudiés en agitant des poids variables avec 500 ml d'acide citrique à 1 ou 2 % suivant les spécifications de WAGNER.

En agitant des poids croissants d'une scorie à 16,1 % de P_2O_5 avec un litre d'acide citrique à 2 %, suivant les spécifications de WAGNER, RINDELL [76] obtint les valeurs reportées au *tableau XIV*.

TABLEAU XIV.

Solubilité de doses croissantes de scories suivant RINDELL [76].

Poids de scorie	P_2O_5 extraït	P_2O_5 %	Solubilité %
2	0.322	16.1	100.
6	0.916	15.3	94.9
10	1.425	14.3	88.7
14	1.896	13.5	84.1
18	2.285	12.7	78.7
22	2.262	11.9	74.5
26	2.769	10.7	66.2
30	2.793	9.3	57.9
38	2.794	7.3	45.7
40	2.790	7.0	43.4

Le *tableau XV* donne les valeurs d'un certain nombre de nos résultats.

TABLEAU XV.

Effets de la variation de la quantité de scorie [55].

N°	P_2O_5 total	P_2C_5 % dissous				
		H_3Ci à 1 %		H_3Ci à 2 %		
		p = 2.5 gr	p = 5 gr.	p = 2.5 gr.	p = 5 gr.	p = 10 gr.
91	19.85	18.50	15.40	19.10	18.95	15.40
92	16.10	14.00	12.18	14.45	13.82	12.12
94	12.35	—	10.65	11.40	11.20	10.32
95	21.15	—	17.70	20.50	19.90	16.85
97	16.00	15.45	13.90	15.50	15.22	13.50
100	18.10	15.20	13.00	15.75	15.13	13.17

L'examen comparatif des *tableaux XIV* et *XV* montre que la dissolution d'une scorie exige en général une quantité d'acide citrique égale au double de poids de scorie mise en œuvre.

Si la quantité d'acide citrique est trop faible, l'acidité de la solution est trop rapidement neutralisée, le pouvoir dissolvant de la liqueur se ralentit et le résultat final est trop faible. Par contre, si l'excès d'acidité est trop élevé, l'action dissolvante se porte peu sur les composés moins solubles et les résultats peuvent s'élever peu à peu lorsque, comme nous ne le nions pas, certaines scories contiennent des composants à dissolution progressive que nous n'avons pas eu l'occasion de rencontrer.

GISIGER [31] obtient des valeurs relativement stables, en agitant pendant 30 minutes, dans 500 ml d'acide citrique à 2 %, des poids variables de scories *(Tableau XVI)*.

TABLEAU XVI.

Influence de variation de prises d'essai (GISIGER [31]).

N°	P_2O_5 total	P_2O_5 soluble				
		P = 5 g	4 gr.	3 gr.	2 gr.	1 gr.
Scorie n° 1	18.1	16.3	16.8	16.8	17.2	17.2
2	17.4	14.7	15.1	15.4	15.5	16.9
3	18.4	17.2	17.5	17.7	17.7	17.9

On remarquera que pour GISIGER les prises d'essai étaient toujours inférieures aux normes de WAGNER ; l'auteur s'oriente ainsi vers une valeur maximum, démontrant qu'il existe dans les scories une forme de combinaison phosphatée insoluble dans le réactif en excès.

En Angleterre, ROBERTSON [77] recommande d'utiliser une prise d'essai de 1 gr pour un volume de 500 ml d'acide citrique à 2 % : il prétend ainsi stabiliser les résultats des scories facilement solubles et valoriser les scories peu solubles dont l'action fertilisante est favorisée par les caractéristiques pluvieuses du climat anglais.

b. *Influence de la durée d'agitation.*

La durée de l'agitation (culbutage des flacons) possède une influence peu notable, lorsqu'elle est suffisamment longue et que la scorie est fine. Lors des premiers instants de contact avec la liqueur acide, la vitesse de dissolution est grande ; elle se ralentit après quelques temps à cause de la neutralisation progressive de l'acidité et la diminution des composants solubles : généralement après 30 minutes d'agitation continue, la dissolution de la partie intéressante est pratiquement terminée et une agitation ne modifie guère le résultat de la dissolution.

Ainsi en agitant au culbuteur mécanique pendant des temps progressifs 5 gr de scorie fine (tamis Kahl n° 100) avec 500 ml d'acide citrique à 2 %, nous obtenions les chiffres reportés au *tableau XVII.*

TABLEAU XVII.

Influence de la durée d'agitation [55].

N°	P_2O_5 total	P_2O_5 % dissous après une agitation de t minutes						
		t = 2	5′	10′	15′	20′	30′	60′
92	10.10	13.22	14.36	15.70	15.70	15.94	16.00	16.05
133 *a*				17.85		18.00	18.00	18.05
b				17.10		17.90	18.00	18.34
c				12.87		15.8	16.55	16.98
134 *a*	22.50		21.40	22.28		22.47	22.47	22.47
b				19.29		22.04	22.22	22.40
c				13.92		17.36	19.92	21.94

Les échantillons marqués *a* passent au tamis KAHL n° 200 ; ceux qui sont marqués *b*, sont refusés au tamis 200, mais passent au tamis 100 et ceux qui sont marqués *c* sont refusés au tamis 100, mais passent au tamis 50.

Les parties fines sont rapidement dissoutes ; après 20 minutes, la dissolution est totale. Il n'en est pas de même avec les parties grossières : la dissolution est d'autant plus lente que les particules sont plus grosses.

Il s'impose toutefois de remarquer que la vitesse de dissolution n'est pas proportionnelle à la finesse et que les particules moyennes montrent sur les particules plus fines un retard de moins en moins sensible d'où peut résulter après 30 minutes d'agitation, des solubilités relatives peu différentes. Il n'en

est pas de même avec les parties les plus grossières : leur dissolution beaucoup plus lente peut conduire à des résultats divergents, lorsque la durée de l'agitation n'est pas observée ; les parties grossières sont ainsi assimilées aux parties dures peu solubles et leur action fertilisante est à considérer comme faible.

V. Critiques de la méthode de Wagner.

Déjà avant son adoption, la méthode de Wagner avait subi de nombreuses critiques, qui n'ont d'ailleurs pas reçu de solution définitive à l'heure actuelle. Nous en envisagerons quelques-unes dans les pages suivantes.

1. *Manque de proportionnalité.*

Suivant Wagner, il existe une certaine proportionnalité entre la valeur fertilisante et la solubilité citrique. Cette affirmation ne constitue pas une loi et de nombreux auteurs l'ont infirmée. Robertson et Dickinson [78] disent que la méthode de Wagner exagère l'infériorité des scories peu solubles et rapportent que le climat peut posséder une influence non négligeable sur la valeur relative de diverses scories.

Dès 1896, Peterman et Graftiau [66] affirmaient déjà que la solubilité citrique est arbitraire, Wagner admet quelques années plus tard [104] que sa méthode au citrate acide manquait de proportionnalité et prétend que les résultats sont plus concordants avec l'acide citrique à 2 %.

Remarquons en passant que Trčmel [92] donne encore comme facteurs de solubilité la température du convertissage, et que Einlander et Roeser [16] y ajoutent la teneur en oxygène de l'air de soufflage. Enfin, Popp [71] et ses collaborateurs avancent, ce qui est souvent reconnu par les métallurgistes, et contraire aux observations de Trömel, que les scories lentement refroidies sont les plus facilement solubles dans l'acide citrique ; malheureusement nous ne possédons guère de relations entre les variations de ces facteurs et les résultats de recherches en agriculture.

2. *Irrégularités de dissolution.*

Les divers constituants des scories présentent des propriétés très différentes dans le réactif de Wagner. Faut-il mettre sur ce fait des différences d'activité : Encore une fois on ne sait.

De 11 analyses Popp et coll. [71] donnaient les chiffres suivants :

SiO_2	total : 6,22 à 14,63	soluble dans H_3Ci à 2 % : 5.04 à 7,85
Fe	8 à 24	0.8 à 15,7
CaO	41 à 50	23,5 à 45,4

Voici pour comparaison les chiffres donnés par Dickens à Radmachter [11] *(tableau XVIII).*

TABLEAU XVIII.

Solubilités moyennes relatives des éléments des scories dans l'acide citrique à 2 %
(suivant DICKENS et RADMACHTER [11]).

Ca	83 %	Mg	20 %
P	93	V	79
Si	9	Ti	47
Fe	1	Cr	18
Mn	16	Cu	50

3. *Variations de résultats.*

La teneur en phosphore soluble dans une scorie peut être considérée comme une constante dans une scorie déterminée : des différences sont le fait des techniques analytiques ; mais autrement il en va lors d'essais culturaux.

Déjà autrefois, MAERKER [52] a retrouvé des résultats variables, il ne peut naturellement en être autrement à cause des facteurs excessivement nombreux qui se rencontrent dans tous essais de ce genre.

On sait que les scories possèdent une action fertilisante, mais il est illusoire de vouloir fixer un chiffre comparé avec l'activité d'une autre matière ; les réactifs utilisés pour des comparaisons chimiques sont de natures différentes et les conditions optimales d'utilisation des diverses substances fertilisantes sont loin d'être semblables.

4. *Vitesse d'absorption non contrôlée.*

En utilisant la technique au ^{32}P ajouté au convertisseur, GERICKE (1954) [27] et SCHONNANSGRUBER (1958) [81], ont démontré que les jeunes plantes utilisent immédiatement, dès leur germination, le phosphore qui provient de scories incorporées au sol lors du semis.

Avec PICARD, KIRCHMAN, MASSAUX, TIBERGHEIN et LALOUX [67], nous avons montré le même phénomène avec des scories potassiques granulées ; radioactivées à la pile atomique.

Mais la vitesse d'absorption est inconstante et les facteurs qui la règlent sont nombreux et mal définis : la méthode d'appréciation de WAGNER doit donc être considérée comme une méthode à caractère total et définitif, alors que l'action fertilisante est progressive et laisse supposer, dans de nombreux cas, une arrière action, dont la détermination est difficile.

5. *Valeur fertilisante des résidus.*

L'application de la méthode WAGNER laisse supposer que les résidus d'extraction possèdent une valeur fertilisante nulle. Or ce fait n'est pas démontré.

Gerlach et Passon [29] signalent que, si on recommence le traitement d'extraction plusieurs fois avec de nouvelles quantités de réactif frais, on finit par dissoudre la totalité de la prise d'échantillon.

Passon [63] analyse le résidu obtenu à partir de 400 à 500 prises d'essai et en donne la composition.

Eau	1.00 %
P_2O_5	9.22 dont soluble dans le citrate acide 4.40
CaO	33.75
SiO_2	2.83.

En appliquant le principe de Wagner ce résidu devrait présenter une action fertilisante. Passon [63] n'en parle cependant pas.

Au contraire de Molinari et Ligot [57], Sjollema [83], Gericke [25] et Truninger [95] d'autre part rapportent que les résidus d'extraction possèdent une valeur qui n'est pas nulle.

Avec Picard, Kirchman, Massaux, Tiberghein et Laloux [67], nous avons mis en essai comparé une scorie et son résidu d'extraction, l'un et l'autre ayant préalablement subi la radioactivation au réacteur atomique.

Les compositions de ces échantillons sont données au *tableau XIX*.

Tableau XIX.

Comparaison de composition
entre une scorie et son résidu dans l'acide citrique à 2 % (Massinon [53]).

Composition	Scorie	Résidus
P_2O_5 %	18.27	9.31
SiO_2	7.91	6.22
CaO	47.75	28.97
Fe_2O_3	16.48	41.20
Al_2O_3	1.76	2.42
Mn_3O_4	2.56	4.09
MgO	2.21	3.88
S	0.12	0.11
Perte au feu	0.34	3.77
P_2O_5 soluble	15.78	5.36
Solubilité Wagner	86.3 %	58.6 %

Il a été montré que la quantité de phosphore radioactif absorbé par les plantes aux dépens des résidus valait le tiers de celle que les plantes avaient absorbé dans les mêmes conditions aux dépens de la scorie originale.

Il est aussi noté en passant que cette scorie et son résidu possèdent des spectres de diffusion X différents (TONNARD [91]).

VI. DISCUSSION SUR LES SCORIES.

En considérant le problème des scories Thomas, nous envisageons les répercussions d'éventuelles modifications de préparation ou de présentation sur l'utilisation de cette matière.

1. *Les procédés de convertissage.*

L'addition de sable est reconnu comme facteur intéressant la solubilité, mais c'est une opération qui présente des inconvénients, car elle exige une augmentation de la température pour produire la fusion. Parfois, il se forme des agglomérats sableux, aussi a-t-on parfois recommandé le remplacement du sable par des silicates.

L'addition d'alcali ne présente pas cet inconvénient, mais par contre provoquerait une plus rapide corrosion des revêtements. Enfin le souflage à l'oxygène réalisé en certains lieux peut-il présenter des avantages de rapidité et de production de température plus élevée.

Quoi qu'il en soit, on a attribué à ces modifications de fabrication la production d'accidents dus au gonflement des sacs et imputés à tort ou à raison à la présence de chaux libre ou de silicates susceptibles de foissonner par absorption d'humidité atmosphérique.

2. *La granulation.*

C'est, à l'heure actuelle, le procédé d'épandage à la mode. On granule les scories, soit directement à la coulée (KOHLER [46]), soit après mouture, par mélange à des engrais potassiques. Ces deux procédés, différents quant à leur base, fournissent des scories d'aspects reconnaissables.

Comme dans le cas de résidus d'extraction suivant WAGNER, signalés précédemment et examinés dans les mêmes conditions expérimentales, les granulés de scories potassiques ont fourni du phosphore immédiatement assimilable, quoiqu'avec un retard qui s'estompe peu à peu au fur et à mesure du développement du système radiculaire des plantes. [67]

3. *La modification des bases de vente.*

Le problème qui se pose n'est pas nouveau : faut-il vendre sur la base de l'anhydride phosphorique (P_2O_5) total, de l'anhydride phosphorique soluble suivant WAGNER, ou du phosphore total ou soluble.

La vente sur la base de l'acide phosphorique (P_2O_5) total est antérieure à celle qui a été adoptée en 1899 sur base de l'acide phosphorique soluble suivant WAGNER. Faut-il y revenir ?

Prenant en considération tous les facteurs qui ont été signalés jusqu'à présent, nous pouvons actuellement, reprendre des affirmations éditées précédemment.

D'après DAFERT et REITMAIR (1899) [10] ni la méthode au citrate acide, ni celle de l'acide citrique n'offrent une mesure exacte du pouvoir fertilisant.

Pour TACKE, GERLACH, SCHNEIDEWIND, HASELHOF et EBERHARD (1915) [89], il n'existe pas de base pour qu'on doive s'éloigner des méthodes en usage à l'époque.

Les conditions n'ont pas changé : certains groupements exigent la vente sur la base de P_2O_5 soluble suivant WAGNER, d'autres le repoussent au profit de P_2O_5 total.

La vente sur la base de P_2O_5 WAGNER ne se défend guère qu'au cas où seraient constatées des falsifications par des phosphates minéraux, car ces derniers se dissolvent mal lorsque la liqueur contient du citrate de calcium, chose qui est rapidement et automatiquement réalisée dans la dissolution des scories par l'acide citrique [54].

Cependant, en Amérique, JACOB et autres (1949) [42], proposent d'adopter pour tous les engrais phosphatés insolubles dans l'eau une méthode de dissolution basée sur l'usage d'une liqueur de citrate ammonique parfaitement neutre, de densité 1.09, (citrate de FRESENIUS, NEUBAUER et LUCK [24]) agissant pendant 1 heure à 60° C sur l'échantillon préalablement lavé à l'eau et maintenu sous agitations fréquentes avec le réactif dans le rapport de 1 partie d'échantillon pour 100 parties de liqueur dissolvante.

Les résultats obtenus par ces auteurs ne sont pas comparables avec ceux qui sont obtenus avec le citrate alcalin de PETERMANN ; le tableau de GRAIRE [31], *(tableau XIII)* était d'ailleurs significatif.

Nous ne voulons pas prendre parti pour une polémique, mais nous remarquerons que changer l'état actuel des choses nous paraît difficile et aléatoire, car les opinions et les positions semblent bien établies dans tous les camps. Il existe cependant un moyen de se former une idée : accumuler et comparer les résultats, ce qui constitue un travail patient auquel tout intéressé se trouve convié.

Gembloux, décembre 1960.

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE

[1] AITA. *Studien uber die Loslichkeit der Phosphorsäure der mineralischen, der calcinierten und der basischen Phosphate, sowie der Thomas-Schlacke.* Ann. di. chim. applicata. Juillet 1916.

[2] BAWDEN F. C. *La Station expérimentale de Rothamsted.* S P A N. : **2**, (1959), 6.

[3] BESSEMER H. Voyez PION n° 69.

[4] Blome H. *Beitrage zur Konstitution der Thomaschlacke.* Stahl u. Eisen : **30**, (1910), 2161.

[5] Buching et Link. *Ueber die Zussamensetsung der Thomasschlacke.* Stahl u. Eisen : **7**, (1887), 245.

[6] Brockhaus. *Der grosse Brockhaus.* Handbuch des Wissens in zwanzig Bänden. (1928) Brockhaus à Leipzig.

[7] Carnot A. et Richard. *Silicophosphate de chaux cristallin, produit de déphosphoration des fontes.* C. R. Acad. Sci : **97**, (1883), 316.

[8] Casali A. *Das neue reactiev Wagner fur die Bestimmung des löslischen Anhydrids in der Thomaschlacke.* Staz. sperm. agrar. Ital. : **32**, (1900), 486 d'après Chem. Zentralb. : **71**, (1900), 1.62.

[9] Centre belgo-luxembourgeois d'information de l'acier (Bruxelles). Communication personnelle.

[10] Dafert J. W. et Reitmair O. *Bewertung des Thomasschlackenmehles.* Zft. Vers. Wes. Österreich ; **11**, (1889), 75.

[11] Dickens P. et Radmachter H. W. *Neuere Untersuchungen über Spurelemente in Thomasphosphat und Hüttenkalk.* Phosphorsäure : **22**, (1955), 251.

[12] Dubbers H. *Untersuchungen über Citratlöslichkeit der Thomasschlacken.* Zft. angew. Chem. : **9**, (1896), 468.

[13] Dubbers H. *Zur Geschichte des Thomasmehles.* Berlin 1913.

[14] Dunkel Th. *Die Citronensäurelöslichkeit der Thomaschlackenphosphorsäure.* Stahl u. Eisen : **47**, (1927), 1205.

[15] Dyer B. *Die Verfalschung von Thomasschlacke.* Zft. anal. Chem. : **17**, (1891), 4.

[16] Einlander W. et Roeser W. *Metallurgische Untersuchungen über das Arbeiten mit Sauerstoffangereichertem Gebläsewind beim Thomasverfahren.* Stahl u. Eisen : **59**, (1935), 1057.

[17] Emmerling A. *Versuche mit Thomasschlacke zu Hafer.* Land. Wochensbl. Elsas-Lothr. : **38**, (1887), 164 d'après Chem. Zentralbl. : **DF. 19**, (1888), 1237.

[18] Fischer J. *Beitrag zur Frage der Erhöhung der Löslichkeit der Thomasmehlephosphorsäure durch Vermischen von Thomasmehl mit Kalisalze.* Phosphorsäure : **2**, (1932), 756.

[19] Fleischer. Cité par Pieper n° 68.

[20] Förster O. *Bildung und Verhalten basischer Calciumphosphate und ihre Beziehungen zur Thomasschlacke.* Zft. angew. Chem. : **5**, (1892), 13.

[21] Förster O. *Zur Wertbestimmung der Thomasschlacken.* Chem. Ztg. : **16**, (1892), 1596.

[22] Förster O. *Ueber die Beziehungen zwisschen Citratlöslichkeit und Bodenlöslichkeit der Phosphorsäure mit besonderer Berücksichtigung der Thomasschlacken.* Chem. Ztg. **20**, (1896), 391.

[23] Förster O. *Löslichkeit von Phosphaten in Citronensäure und Ammoniumcitrat.* Chem. Ztg. : **20**, (1896), 1020.

[24] Fresenius R., Neubauer C. et Lück E. *Gutachten über die besten Methoden der Analyse der kunstlichen Dünger.* Zft. anal. Chem. : **10**, (1871), 133.

[25] Gericke S. *Untersuchungen über die Löslichkeitsverhälnisse der Phosphorsäure in Thomasschlacken.* Stahl u. Eisen : **72**, (1952), 1580.

[26] Gericke S. *Thomasphosphat in der deutschen Landwirtschaft.* Phosphorsäure : **14**, (1954), 15.

[27] GERICKE S. *Düngungversuche mit radioaktiven Thomasschlacke.* Phosphorsäure : **14**, (1954), 199.

[28] GERICKE S. et KURMIES B. *Bedeutung und Herkunst des Elementes Fluor in der Thomasschlacken.* Stahl u. Eisen : **71**, (1951), 454.

[29] GERLACH M. et PASSON M. *Die Bestimmung der leichlöslichen Phosphorsäure in Thomasmehle.* Chem. Ztg. : **20**, (1896), 87.

[30] GISIGER L. *Beitrag zur Kentniss der Wirkung des Knochenmehls und Thomasmehls.* Bodenk. u. Pflanzenern. [16]. **61**, (1940), 1023.

[31] GRAIRE J. *Composition, solubilité, assimilabilité et dosage des phosphates et engrais phosphatés.* Chimie et Industrie : **27**, (1932), 210.

[32] GRÉGOIRE Ach. *Contribution à l'étude des scories de déphosphoration.* 1904, Weissenbruch à Bruxelles.

[33] HILGENSTOCK G. *Das vierbasische Kalkphosphat und die Basicität des Silicates in der Thomasschlacken.* Stahl u. Eisen : **7**, (1887), 557.

[34] HILL W. L., FAUST G. T. et REYNOLDS D. S. *The binary system P_2O_5 — $2CaO.\ P_2O_5$.* Am. J. Sci. **242**, (1944), 458 et 542.

[35] HOFFMEISTER W. *Die Citratlöslichkeit der Phosphorsäure in den Thomasschlacken.* Land. Vers. Sta. : **46**, (1896), 399.

[36] HOLDEFLEISS. *Über die Thomasschlacken.* Zft. landwirtsch. Central. Prov. Sachsen. (1885), 15 d'après Chem. Zentralbl. DF. **17**, (1886), 15.

[37] HOLLE W. *Der Einfluss der Temperatur beim Ausschüteln von Thomasphosphatmehl.* Bied. Zentralbl. : **24**, (1895), 132.

[38] HOYERMANN G. *Die Wirkungen der aus Thomasschlacken hergestellten Düngemittel.* Verh. Ver. zur Befdord d. Gewerst. (1885), 234 d'après Chem. Zentralbl. : DF. **17**, (1886), 158.

[39] HOYERMANN G. *Die Citratlöslichkeit der Phosphorsäure in Thomasphosphatmehle.* Bied. Zentralbl. : **24**, (1885), 132.

[40] HOYERMANN G. *Thomasschlacke.* Stahl u. Eisen : **7**, (1887), 669.

[41] ILSEDER HÜTTE. (Peine). Communication personnelle.

[42] JACOB C. B., WARD F. N., MAGNESS R. H. et WITTAKER C. W. *Report on phosphoric acid in fertilizers : comparison of neutral ammonium citrate and two percent citric acid solutions as solvents for basic slags.* J. Assoc. Off. Agric. Chem. : **32**, (1949), 202.

[43] JENSCH E. *Beitrage zur Kentniss des Tetrakalciumphosphates und der basischer Konvertschlacke.* Ber. : **19**, (1886), 3093.

[44] JENSCH E. *Beitrage zur Löslichkeit phosphorsäureärmer Thomasschlacke.* Zft. angew. Chem. : **2**, (1889), 299.

[45] JOULIE H. *Assimilabilité des superphosphates.* Mon. Quesneville : juillet 1872 et C. R. Acad. Sci. : **76**, (1873), 1288.

[46] KOHLER W. *Verfahren zum Zerstäuben und Unterkühlen von flüssiger Thomasschlacke mit Drückluft.* Stahl u. Eisen : **72**, (1952), 779.

[47] KNOOP C. H. *Verfahren zur Gewinnung citratlöslischer Schlacke beim Thomasprocess.* DRP 107.919 du 8.8.1897.

[48] LAWES J. B. et GILBERT J. H. Voyez BAWDEN n° 2.

[49] LIEBIG J. Voyez BROCKHAUS n° 6.

[50] MAERKER M. *Versuche über den Wert der Phosphorsäure in gemahlen Thomasschlacken.* Scheil. N. Z. **18**, (1887), 43 d'après Chem. Zentralbl. DF. **16**, (1887), 303.

[51] MAERKER M. *Versuche über den Wert der Thomasschlacken und unter welchen Verhälnissen empfielt es sich mit Thomasphosphorsäure zu düngen.* N. Z. R. **20**, (1888), 25 d'après Chem. Zentralbl. : DF. **19**, (1888), 1012.

[52] MAERKER M. *Die Wirkungswert verschiedener Thomasphosphatmehle, Rohphosphate und der Phosphorsäure des Knochenmehles.* Jahresber. agricult. Vers. Sta. Halle a. S. : (1893).

[53] MASSINON J. (Forges de la Providence à Marchienne-au-Pont). Communication personnelle.

[54] MARTENS P. H. *Die 2 % ige mit Calciumcitrat gesättigte Citronensäurelösung und ihre lösende Wirkung auf die Phosphatdüngemittel.* Zft. anal. Chem. : **125**, (1942), 245.

[55] MARTENS P. H. (Institut agronomique de l'État à Gembloux). Résultats non publiés.

[56] DE MOLINARI M. Résumé des rapports des directeurs des laboratoires d'analyses de l'État (1904) chez Weissenbruch à Bruxelles.

[57] DE MOLINARI M. et LIGOT L. *L'acide phosphorique soluble dans l'acide citrique des scories de déphosphoration.* Bull. Agricult. : **21**, (1905), 1116 et **23**, (1907), 50.

[58] MORRISON C. G. T. *Der Gehalt an freiem Kalk und die Zussamensetsung des löslischen Phosphate im Thomasmehl.* Bied. Zentralbl. : **40**, (1918), 14.

[59] ORGANISATION EUROPÉENNE DE COOPÉRATION ÉCONOMIQUE. Les engrais. Méthodes d'analyse en usage dans les pays de l'O. E. C. E. (1952) Paris.

[60] OTTO H. *Der vierbasische Phosphorsäurekalk und die Phosphorsäure der Thomasschlacke.* Chem. Ztg. : **11**, (1887), 265.

[61] PASSON M. *Vergleichende Methoden über die Bestimmung der citratlöslichen Phosphorsäure in Thomasmehle.* Zft. angew. Chem. : **9**, (1896), 286.

[62] PASSON M. *Über die Bestimmung der citratlöslichen Phosphorsäure in Thomasmehlen mittels freier Citronensäure.* Zft. angew. Chem. : **9**, (1896), 677.

[63] PASSON M. *Über der in Wagnerschenlösung citratunlöslicher Rest des Thomasmehles.* Zft. angew. Chem. : **11**, (1898), 489.

[64] PETERMANN A. *Über den landwirtschaftlichen Wert der sogenannten zurückgegangenen Phosphorsäure.* Ber. Versam. Vorstände. Vers. Sta. Carlsruhe (1879).

[65] PETERMANN A. *Sur la valeur agricole de l'acide phosphorique dit rétrogradé.* Bull. Sta. expérim. Gembloux, **20**, (1880).

[66] PETERMANN A. et GRAFTIAU J. *Existe-t-il une relation constante entre la solubilité des scories de déphosphoration dans le citrate d'ammoniaque et le poids de la récolte produite* ? Ann. Sci. agron. : [2]. **2**, (1896), 445.

[67] PICARD M. A., KIRCHMAN R., MASSAUX F., TIBERGHEIN J. M., LALOUX R. et MARTENS P. H. (Institut agronomique de l'État à Gembloux). Résultats non publiés.

[68] PIEPER. *Über die Thomaschlacke und deren Bedeutung für den Düngermarkt.* Ref. Generalversam. deutscher Düngerfabrikanten. Berlin (1885).

[69] PION. *Über das Bessemer'sche Verfahren der Darstellung von Smiedeeisen.* Ann. Mines **2**, (1857), 643 d'après Chem. Zentralbl. NF. **1**, (1857), 228.

[70] PLINIUS SECUNDUS. *L'histoire du monde.* (Traduction française de A. du PINET) Tome I, livre 17, chap. 9. (1615) Laurent SONNIUS à Paris.

[71] POPP M., CONTZEN J., HÖFER H. et MENZ H. *Die lösliche Kieselsäure und ihre Einfluss auf die Bestimmung der zitronensäurelöslichen Phosphorsäure.* Land. Vers. Sta. : **79/80**, (1913), 249.

[72] REIS M. A. *Über das Verhalten der Thomasschlacke zu kohlensäurehaltige Wasser.* Chem. Ztg. : **11**, (1887), 933.

[73] REIS M. A. *Beitrag zur Chemie der Thomasschlacke.* Zft. Angew. Chem. : **5**, (1892), 229.

[74] REIS M. A. *Über das Verhalten der Thomasschlacke zu kohlensäurehaltigem Wasser.* Chem. Ztg. **10**, (1886), 531.

[75] RIEHM H., SCHULZE-GROBLEBEN W. et BARON H. *Die Mikronährstoffe Bor, Kupfer und Kobalt im Thomasphosphate und ihre Bedeutung zur Verhütung von Mangelkrankheiten.* Phosphorsäure **14**, (1954), 55.

[76] RINDEL A. *Über Löslichkeitbestimmungen in der Agrikulturchemie.* Bied. Zentralbl. **41**, (1912), 229.

[77] ROBERTSON. *Field experiments with rock phosphate and basic slag.* J. Ministry. Agriculture. **29**, (1922), 519.

[78] ROBERTSON et DICKINSON. *The valuation of insoluble phosphate by means of a modified citric acid method.* J. Soc. Chem. Ind. **42**, (1923), 59.

[79] SCHARRER K. *Die Spurelemente und Mikronährstoffe im Thomasphosphate.* Phosphorsäure **14**, (1954), 36.

[80] SCHMITT. 75 *Jahre Thomasphosphate. Eine entwicklingsgeschichtlitche Betrachtung.* Phosphorsäure **14**, (1954), 3.

[81] SCHÖNNANSGRUBER H. *Die Aufnahme der Phosphorsäure aus Thomasphosphat durch Holzpflanzen.* Phosphorsäure. **18**, (1958), 24.

[82] SIROT et JORET. *Solubilité des scories dans les acides organiques faibles.* Ann. Chim. anal. **24**, (1919), 80.

[83] SJOLEMA B. et DE RUYTER DE WIED J. *Ist die Zitronensäurelöslichkeit ein richtiger Maastab für die Bewertung eines Thomasmehls* ? Verl. Landbouwk. Onderzoek. Rijkslandbouwpr. **7**, (1910).

[84] SMOEGER. *Uber eine bemerkenswerte Beobachtung an gegluhten Thomäsmehle.* Land. Vers. Sta. **48**, (1897), 413.

[85] STEAD J. E. et RIDSDALE C. H. *Über Kristalle in Thomasschlacken.* Chem. News. **55**, (1890), 221 d'après Chem. Zentralbl. **DF 18**, (1887), 687.

[86] STOCKLASA J. *Über die Thomasschlacke.* Chem. Ztg. **15**, (1891), 543.

[87] STUTZER A. *Verfälschungen der Thomasschlacke mit Martinschlacke.* Zft. Land. Vers. Rheinpressen. (1891), 144 d'après Chem. Zentralbl. **62**, (1891), II. 491.

[88] SUTHERS W. F. *Über die Löslichkeit von Düngerphosphaten in einigen organischen Säuren.* Chem. News. **84**, (1900). 199 d'après Chem. Zentralbl. **72**, (1901) II, 1214.

[89] TACKE, GERLACH, SCHNEIDEWIND, HASELHOFF et EBERHART. *Versuche über die Wirkung der Phosphorsäure in verschiedene Thomasmehle.* Land. Vers. Sta. **87**, (1915), 89.

[90] THOMAS S. G. Voyez DUBBERS n° 12, GERICKE n° 26, SCHMITT n° 80 et ZANEN n° 110.

[91] TONNARD V. (Institut agronomique de Gembloux). Communication personnelle.

[92] TRÖMEL G. *Die Bedeutung der Kristallchemie und der physikalisch-chemischen. Gleichgewichtuntersuchungen für die Herstellung und Anwendung der Phosphatdüngemittel.* Zft. Pflanzenern. Düng. Bodenk. **46**, (1940), 142.

[93] TRÖMEL G. *Untersuchungen in Dreistoffsystem CaO-P_2O_5-SiO_2 und ihre Bedeutung für die Erzeugung von Thomasschlacken.* Stahl u. Eisen. **63**, (1943), 21.

[94] TRÖMEL G., HARKORT H. J. et HOTOP W. *Untersuchungen im system CaO-P_2O_5-SiO_2.* Zft. anorg. allg. Chem. **256**, (1948), 253.

[95] TRUNINGER, E. *Zur Bewertung des Thomasmehles.* Land. Jahrb. d. Schweiz. **51**, (1937), 890.

[95] ULMANN'S *Encyclopädie der technischen Chemie.* Düngemittel (TRÖMEL) (1955) Urban et Schwarzenbach à Munchen.

[96] WAGNER P. *Über den Wert des Thomaschlackenmehles als der zur Zeit billigste Phosphorsäuredünger.* Fortschritt. Ind. Bl. **23**, (1886), 23 d'après Chem. Zentralbl. DF. **17**, (1886), 606.

[97] WAGNER P. *Die Bestimmung der citratlöslichen Phosphorsäure in Thomasschlacke und unaufgesschlossenen mineralischen Phosphate.* Chem. Ztg. **18**, (1894), 1153.

[98] WAGNER P. *Thomasschlacke.* Chem. Ztg. **18**, (1894), 154.

[99] WAGNER P. *Methode zur Ermittelung der citratlöslichen Phosphorsäure in Thomasmehlen und mineralischen Rohphosphaten.* Chem. Ztg. **18**, (1894), 1934.

[100] WAGNER P. *Die chemische Konstitution der Thomasschlacke.* Chem. Ztg. **18**, (1894), 1933.

[101] WAGNER P. *Die Bestimmung der citratlöslichen Phosphorsäure in Thomasschlacke.* Chem. Ztg. **19**, (1895), 1419.

[102] WAGNER P. *Die Bewertung der Düngerphosphate nach ihren Gehalte an citratlöslicher Phosphorsäure.* Chem. Ztg. **21**, (1897), 905.

[103] WAGNER P. *Untersuchungen über die Ursachen verschiedener Zitratlölichkeit der Thomasmehle.* Land. Ver. Sta. **49**, (1898), 227.

[104] WAGNER P. *Die Bestimmung der wirksamen Phosphorsäure in Thomasmehlen mit 2 % iger Zitronensäurelösung.* Land. Vers. Sta. **52**, (1899), 10.

[105] WAGNER P., KUNZE R. et SIMMERMACHER W. *Die Bestimmung der citronensäurelöslichen Phosphorsäure in Thomasmehlen.* Land. Vers. Sta. **66**, (1907), 257.

[106] WARINGTON. *Bestimmung der Phosphorsäure neben Eisenoxyd und Tonerde.* J. Chem. Soc. **2**, (1863), 304 d'après Chem. Zentralbl, NF (**1**), (1864), 19.

[107] WILLEMS J. *Die Zitronensäurelöslichkeit der Thomasschlacke.* Stahl u. Eisen. **63**, (1943), 53.

[108] WRAMPELMEYER. *Über die Wertbestimmung der im Wasser unlöslichen Phosphorsäure.* Land. Vers. Sta. **45**, (1895), 187.

[109] WRINGTON et MUNO. *Wert der Thomasschlacken für den Ackerbau.* Enginn. Mining. **41**, (1887), d'après Chem. Zentralbl. **DF 18**, (1887) ; 206.

[110] ZANEN J. P. *Le rôle des scories Thomas dans l'évolution de l'agriculture luxembourgeoise.* (1936) Soupert à Luxembourg.

[111] ZANEN J. P. *Thomasphosphat in der europäischen Landwirtschaft.* Phosphorsäure **12**, (1952), 272.

UNIVERSITÉ JUSTUS LIEBIG A GIESSEN (ALLEMAGNE)

Les éléments traces dans les engrais et leur signification pour les végétaux et les animaux

par

N. ATANASIU (*)

On fait aujourd'hui la distinction en ce qui concerne les végétaux, entre les éléments traces et les micro-éléments : ces derniers sont les éléments-traces qui se sont avérés indispensables à la vie des végétaux. D'après ARNON, ils doivent présenter les caractéristiques suivantes :

1. Sans eux, la plante se trouve dans l'impossibilité d'accomplir son cycle de vie.
2. Ils ont une action spécifique qui ne peut être exercée par un autre élément.
3. Ils doivent exercer une action directe sur la plante.

Jusqu'à présent, le bore, le cuivre, le manganèse, le molybdène, le zinc et le fer ont été reconnus comme indispensables à la vie des végétaux, c'est-à-dire qu'ils sont considérés comme des micro-éléments. D'après les récents travaux de l'Université de Berkeley en Californie, le chlore est également un micro-élément.

On attribue une grande importance, en ce qui concerne le règne animal, aux éléments traces suivants : fluor, brome, iode, cobalt, cuivre, manganèse et zinc.

Dans le règne végétal les micro-éléments ont le même caractère que les macro-éléments : ils sont des facteurs de croissance. Étant donné les quantités minimes nécessaires à la croissance optimum de la plante, les micro-éléments, ont selon MITSCHERLICH, un très grand coefficient d'efficacité.

Outre les micro-éléments, il existe encore une série d'éléments traces qui interviennent dans la plante et peuvent exercer une action favorable sur la croissance. Parmi eux, il faut citer le vanadium, le titane et le chrome.

(*) Prof. Dr de Phytotechnie et d'Amélioration des Plantes.

L'étude des éléments traces et des micro-éléments est très complexe et est loin d'être terminée.

L'action de chacun des micro-éléments peut différer selon qu'elle s'exerce sur des végétaux supérieurs ou sur des végétaux inférieurs. Il peut également arriver qu'ils représentent un micro-élément pour des végétaux supérieurs et non pas pour des végétaux inférieurs, comme c'est le cas par exemple pour le molybdène.

Les micro-éléments agissent principalement par la voie des enzymes de la plante, dont ils sont partiellement les composants, ainsi *le fer* se rencontre dans le cytochrome, la catalase et la peroxydase, *le zinc* dans l'anhydrase carbonique, l'hexokinase et la déshydrogenase glutaminique et alcoolique, *le cuivre* dans les oxydases polyphénoliques ainsi que dans la réductase des nitrites et hyponitrites ; *le molybdène* dans la réductase des nitrates et *le manganèse* dans la réductase hydroxylaminique.

Une carence en micro-éléments peut provoquer un appauvrissement ou un accroissement de l'activité de certains enzymes.

Il peut se produire d'importantes modifications dans le système enzymatique de la plante, avant même que des symptômes extérieurs de carence ne se manifestent, ces modifications peuvent atteindre les facteurs qualitatifs car ceux-ci sont principalement dus à des composants, produits par des enzymes, au cours de certains processus biochimiques.

Ces modifications peuvent déjà se réaliser en présence d'une faible carence en micro-éléments, même si la production ne s'en trouve pas influencée. C'est pour cette raison que le rôle des micro-éléments en tant que facteur qualitatif est très important.

Par ailleurs, il semblerait d'après des travaux russes, que les micro-éléments exercent une grande influence sur l'hydratation de la plante. Ils augmentent la stabilité du plasma, améliorent l'approvisionnement en eau de la plante et accroissent sa résistance aux fortes concentrations salines.

Des essais autrichiens ont montré l'augmentation de résistance des végétaux à la sécheresse sous l'action du zinc, bore, manganèse et du cuivre.

L'action des éléments traces sur l'animal et sur l'homme est réelle. On sait qu'aux États-Unis, on combat la brucellose de manière prophylactique par l'administration de manganèse.

Les constatations de Diehl et Tromp en Hollande, d'après lesquelles le cancer surgirait surtout là où l'eau potable est pauvre en manganèse, sodium et magnésium, ne sont pas à négliger, même si le déroulement du processus n'a pas encore pu être démontré de façon formelle.

Ces observations, à elles seules, prouvent l'impérieuse nécessité d'approfondir les recherches relatives aux éléments traces et aux micro-éléments.

On poursuit en Europe et notamment en Hollande, en Belgique et en Suède, des analyses systématiques du sol, axées sur la détermination de certains micro-éléments ; en Allemagne, on s'est également préoccupé, ces derniers

temps, de ce problème et des méthodes d'analyses ont été mises au point à cet effet.

Les États-Unis où des symptômes de carence se sont particulièrement manifestés, à cause des lessivages et de la pratique de la monoculture, se livrent également à de très sérieuses recherches dans le but de déterminer les zones de carence.

On signale qu'en U. R. S. S. un gros effort est fait pour accroître la production, surtout grâce à l'application de bore et de manganèse (ce dernier en tant que sous-produit de l'industrie du manganèse et du fer). Il paraîtrait qu'en U. R. S. S., on ajoute des éléments traces soit aux engrais au moment de leur granulation, soit aux semences, en traitant ces dernières avec des solutions contenant des éléments traces. Il a également été procédé à l'établissement d'une carte géographique de l'entièreté du territoire soviétique, sur laquelle sont indiqués les zones dans lesquelles les plantes et les animaux réagissent tout particulièrement à certains éléments traces.

L'étude de l'action des différents éléments traces et micro-éléments a été poursuivie avec une intensité toute particulière ces derniers temps.

K. SCHARRER a donné à l'occasion du 3e Congrès mondial des problèmes de fumure, tenu en 1957 à Heidelberg, un aperçu très complet de l'état actuel des recherches dans ce domaine, dont nous citerons ici quelques-uns des principaux résultats :

Le Bore a été reconnu, grâce aux travaux de E. Brandenburg en 1931, comme l'élément trace dont la carence provoque la pourriture du cœur et la pourriture sèche des betteraves. Un an plus tard, SCHMUCKER a pu démontrer expérimentalement le rôle important du bore dans la germination du pollen.

Nous disposons actuellement d'un grand nombre de résultats qui démontrent de façon irréfutable l'action du bore sur les protéines cellulaires, les processus respiratoires et le système enzymatique.

Il semble, d'autre part, que le bore et les hormones de croissance (auxine, hétéroauxine) agissent simultanément sur le métabolisme du végétal. D'autres résultats permettent de conclure que le bore et l'acide adenosine triphosphorique (ATP) donnent des combinaisons complexes qui, sous l'action de la lumière, se décomposent plus rapidement que l'ATP lui-même, et qui influencent favorablement les réactions de photosynthèse.

Comme la photosynthèse d'une part, et la translocation d'autre part, sont favorablement influencées par le bore, on trouve là l'explication des résultats des travaux russes, où une aspersion d'une solution de bore sur des feuilles de pommes de terre, a provoqué une augmentation de la teneur des feuilles en sucres réducteurs et solubles, et une élévation de la teneur en amidon des tubercules de l'ordre de 40 à 55 %.

Des travaux autrichiens ont par ailleurs, mis en évidence la relation entre l'apparition de la carence en bore chez les pommes de terre, et l'effet de la mise en circulation de la tyrosinase. La coloration d'une coupe de pomme de terre

par la melanine, provenant de la tyrosine, dépend du degré de concentration du bore dans la plante.

D'après des travaux hollandais (Gerretsen), le bore est absolument indispensable à la croissance de l'azotobacter.

Le bore se trouve dans le sol, en partie sous forme de combinaison chimique, partiellement en tant qu'ion borate sorbé par les colloïdes argilo-humiques.

L'ion borate est fixé moins fortement dans le sol que l'ion phosphate. D'après des observations de BARBIER, il est possible sur de nombreux sols, et grâce à une application de bore, de maintenir ou d'augmenter l'activité des ions borate. Un épandage régulier d'ions borate sur le sol serait par conséquent nécessaire.

Le bore est également soumis dans le sol à l'action du lessivage, plus intense en sol sablonneux qu'en sol argileux.

Le fer est un autre micro-élément dont la carence fait apparaître sur les plantes des symptômes de chlorose. Il faut considérer le rôle du fer comme constituant du système enzymatique, par exemple dans la réductase des nitrites et des hyponitrites.

En général, il faut une très faible quantité de fer pour assurer une croissance normale du végétal et on décèle peu de symptômes de carence de fer.

Le cuivre est un micro-élément au sujet duquel on décèle bien plus souvent des symptômes de carence que pour le fer.

La teneur des plantes en cuivre ne subit que des variations relativement faibles, ce qui confirme les résultats de ERKAMA d'après lesquels le cuivre est surtout combiné aux protéines dans la plante. C'est ainsi que l'oxydase de la pomme de terre est une combinaison cupro-protéidique.

D'autres oxydases sont influencées dans leur activité par le cuivre.

C'est surtout en Australie — pour les arbres fruitiers — qu'on signale des symptômes de carence aiguë en cuivre. Sur les sols de bruyère, sur les sols de tourbières basses, en Belgique, en Hollande, au Danemark et en Allemagne également, on relève des symptômes de carence en cuivre. Ce phénomène doit être attribué d'une part, à la faible teneur absolue de ces sols en cet élément et d'autre part, au fait que le cuivre est fixé aux humates difficilement solubles.

RADEMACHER a fait remarquer que la carence en cuivre peut également se manifester de façon latente, ainsi que c'est le cas pour l'avoine. Il distingue, de ce fait, différents degrés de carence en cuivre.

Le manganèse est un des micro-éléments, qui retient le plus l'attention des chercheurs, après le bore. J. HUDIG décrivait déjà, en 1905, la « maladie des taches grises » chez l'avoine.

Le manganèse participe également à la formation de différents enzymes. Il agit en même temps dans la plante en tant que catalyseur.

D'après BURSTROM, la respiration et la réduction des nitrates dépendent du potentiel d'oxydo-réduction du manganèse.

L'importance du manganèse dans la photosynthèse ressort nettement de nombreux résultats d'expérimentation.

De plus, il est un complément de la déhydrase de l'acide isocitrique, ce qui permet la formation d'acide cétoglutarique au départ d'acide citrique. De ce fait, il intervient pour une grande part dans le cycle de Krebs.

Le manganèse favorise d'autre part la formation d'acide ascorbique et de vitamine C dans la plante.

D'après ERKAMA, le manganèse, le cuivre et le fer se trouvent dans une situation d'étroite interdépendance, comme c'est par exemple le cas pour le potassium, le calcium et le magnésium.

La forme assimilable du manganèse est le Mn bivalent ; c'est pourquoi son assimilabilité dépend du potentiel d'oxydo-réduction du sol. Elle dépend également de la présence de micro-organismes réducteurs, ainsi que de leurs produits de métabolisme et des produits réducteurs de désintégration de la substance organique du sol.

Le Molybdène n'a été considéré comme micro-élément qu'en 1939, grâce aux travaux de ARNON et STOUT (Berkeley, Californie).

Il est un constituant de la réductase des nitrates et joue un rôle spécifique chez les végétaux supérieurs lors de cette réduction.

D'autre part, il active la nitrogénase, le ferment des bactéries fixatrices d'azote et des bactéries des nodosités des racines de légumineuses.

La carence en molybdène a été observée chez diverses cultures et surtout chez les variétés à croissance rapide et cultivées d'une façon intensive.

Une augmentation de la production végétale provoquée par le reliquat des fumures peut également provoquer plus rapidement des symptômes de carence en molybdène.

Dans le sol, le molybdène peut être sorbé par les substances organiques en tant que sel ou anion.

Le zinc est aussi présent dans la plante et participe à la formation d'enzymes, telle que la carboanhydratase. Il augmente la teneur en auxine des végétaux, de même que la production des semences. Des essais en pots avec de l'orge ont démontré que des doses accrues de zinc augmentent la tyrosine et le tryptophane dans les protéines.

On observe comme symptômes de carence, les maladies suivantes : nécrose, arrêt de la croissance foliaire, nanisme, maladie des rosettes.

Ces maladies se rencontrent surtout en Australie où le zinc favorise la grenaison chez les trèfles, en Amérique chez le maïs, les fruits à noyaux et à pépins, ainsi qu'en Europe, au Danemark, en Hollande, en Suisse et en Hongrie.

La maladie des rosettes a, de même, été observée en Allemagne dans la plaine du Rhin sur des arbres fruitiers.

Teneur des engrais en micro-éléments.
En g par 100 kg.

Engrais	Mn	Cu	Co	B	Mo	Zn	Cr	V	Ti
A. *Engrais organiques*									
Fumier d'étable	3 — 4	0,2 — 0,5	0 — 0,2	0,3 — 0,6	0,05	2	—	—	12
Purin, lisier	0,08	0,04	—	0,2 — 0,4	—	—			
B. *Engrais chimiques*									
1) *Amendements calcaires*									
Engrais calcaires	2 — 5	—	—	—	—	—		—	—
Laitiers de haut fourn.	500 — 2000	1 — 2	0,5	4 — 11	0,3	3 — 60	1 — 40	7 — 90	300 — 650
2) *Engrais azotés*									
Nitrate d'ammoniaque	10 — 15	0,5	—	—	—	—	—		
Nitrate du Chili	—	—	—	12	—	—		—	—
3) *Engrais potassiques*									
Sels de potasse	2 — 7	—	—	2 — 35	—	—			
4) *Engrais phosphatés*									
Phosphate Thomas	2500 — 5000	1 — 6	0,2 — 0,5	2 — 7	0,5	3	140 — 500	200 — 600	60 — 360
Superphosphate	2 — 8	0,4 — 2	0,08	0,8 — 1	0,1	1 — 2	7	5	5
Phosphate Röchling	1000 — 3000							400 — 800	500 — 1000
Phosphate brut	26 — 1200	—				—	2 — 7	10 — 40	20 — 100
5) *Engrais composés*									
Engrais Kamp	2 — 4	2						—	
Amsup et Amsupka	1 — 4	1	—	—	—	1		2	
Nitrophoska	2 — 3	2 — 3	—	1	—	11 — 13			
Engrais complet Höchst									
Engrais spécial	100	40	1	60	—	20	—	—	—

Après avoir donné cet aperçu sommaire sur l'action des micro-éléments, nous abordons le problème de la teneur des principaux engrais en ces éléments, et de leur action sur les plantes.

La teneur de différents engrais en éléments traces a été examinée dans différents travaux, notamment par GERICKE, SCHARRER, RADEMACHER, SCHROPP.

K. SCHARRER et ses collaborateurs ont spécialement étudié la teneur en éléments traces des Scories Thomas, du phosphate « Rhenania », du fumier d'étable et du purin.

S. GERICKE a donné en 1957, la composition moyenne de plusieurs engrais, en ce qui concerne les éléments traces ; les chiffres concordent avec ceux donnés par Scharrer.

Si l'on se place au point de vue de la concentration, les Scories Thomas, le phosphate « Röchling », les laitiers de haut fourneau et différents phosphates bruts contiennent des quantités relativement élevées de manganèse.

Ce sont les Scories Thomas qui contiennent le plus de cuivre ; puis viennent les laitiers de haut fourneau et le superphosphate.

C'est surtout dans les Scories Thomas et dans les laitiers de haut fourneau que l'on trouve le molybdène et le zinc.

Ce tableau montre que les Scories Thomas et les laitiers de haut fourneau contiennent également du cobalt, élément important dans la nutrition animale.

D'autres éléments, dont le rôle pour les végétaux et les animaux n'est pas encore bien défini, tels que le chrome, le vanadium et le titane sont contenus dans les laitiers de haut fourneau, les Scories Thomas et le phosphate « Röchling ».

Outre la détermination des teneurs en micro-éléments, la question de leur assimilabilité par les végétaux joue un grand rôle.

On dispose à ce sujet de différents travaux publiés par les auteurs précités.

L'assimilabilité des éléments traces intervenant dans les Scories Thomas, a été particulièrement bien étudiée. Des essais en champs et en pots entrepris par RADEMACHER de 1936 à 1939 ont démontré que l'assimilabilité du manganèse est relativement bonne dans le phosphate Thomas.

Même, si elle est un peu inférieure à celle du sulfate de manganèse, une fumure d'environ 4 qx/ha de Scories Thomas contenant 4 % de manganèse, apporte au sol environ 16 kg de manganèse. De ce fait, la teneur en manganèse exerce un effet favorable dans le traitement des carences en cet élément, par exemple dans la maladie des taches grises de l'avoine.

KURMIES et ZEZSCHWITZ ont observé qu'une fumure de 8 qx/ha de Scories Thomas, complétée par l'apport de N et K, provoque au bout d'un an déjà, un accroissement de la teneur en manganèse du foin.

TABLEAU 2. — *Action de fortes fumures aux Scories Thomas sur la teneur en* Mn *du foin.*

Fumure	mg de Mn dans 100 g de foin
O	16,0
KN	16,4
KN + 8 qx/ha Scories Thomas	19,1

Les essais de ces deux auteurs ont montré que la teneur en manganèse du foin est plus élevée dans le Nord-ouest de l'Allemagne qu'en Bavière ou dans le Duché de Baden-Wurtenberg. Les auteurs supposent que ce phénomène doit être attribué aux taux de consommation différents des Scories Thomas. En effet on consomme dans le Nord-Ouest de l'Allemagne des quantités plus élevées que dans le Sud.

TABLEAU 3. — *Teneur moyenne en manganèse du foin de différentes régions* mg *de* Mn *dans* 100 g *de foin.*

	1re coupe	2e coupe	1re et 2e
Allemagne du Nord-Ouest	12,9	15,6	14,3
Bavière	8,4	10,6	9,5
Wurtenberg et Baden-Palatinat	4,6	8,2	6,4

SCHROPP a entrepris des essais en pots avec différentes plantes agricoles afin de déterminer l'assimilabilité du manganèse des Scories Thomas.

D'une façon générale, SCHROPP constate dans tous ses essais que lorsque l'action du manganèse du sulfate de manganèse est égale à 100, l'action du manganèse des Scories Thomas est égale à 97.

Ces résultats permettent de conclure que le manganèse contenu dans les Scories Thomas constitue un bon approvisionnement du sol en cet élément.

D'après les données de K. SCHARRER, les conditions au cours des années 1950-52 ont été les suivantes :

les récoltes ont prélevé au sol, dans la République Fédérale, 7.000 tonnes de manganèse. Le sol a reçu en dehors des Scories Thomas par la voie du fumier d'étable et d'autres engrais, 3.700 tonnes de cet élément. Grâce à une consommation de 1.600.000 à 1.960.000 tonnes de Scories Thomas, le sol a reçu annuellement 64.000 à 78.000 tonnes de manganèse.

La teneur en cuivre du Phosphate Thomas qui est de 1 à 6 gr par 100 kg, est élevée, comparativement à celle des autres engrais. Les laitiers de haut fourneau et le fumier d'étable en contiennent également assez bien.

En supposant une même assimilabilité du cuivre pour tous les engrais, GERICKE établit le tableau suivant relatif aux apports de cet élément dans les sols cultivés de l'Allemagne occidentale (pour les années 1953-1955):

38,8 g Cu /ha dont	30 g provenant du fumier d'étable
	6,7 g provenant des Scories Thomas (ce qui correspond à 1,35 qx /ha de scories)
	1,3 g provenant des autres engrais minéraux.

GERICKE fait observer à ce sujet que si on augmente l'application de Scories Thomas et si on la porte à 4 qx /ha, le sol reçoit alors 20 g de Cu par ha.

En ce qui concerne *le bore* les conditions sont, d'après GERICKE, les mêmes que pour le cuivre ; les chiffres indiqués par lui pour les teneurs en cuivre et en bore dans les Scories Thomas sont en effet à peu près les mêmes. D'après SCHARRER cependant, la teneur en bore des Scories Thomas peut être plus élevée et aller jusqu'à 7 g par 100 kg.

Parmi les autres éléments traces, il faut citer le molybdène qui est surtout présent dans les Scories Thomas, les laitiers de haut fourneau et le fumier d'étable.

Chaque année et par hectare, 70 qx de fumier d'étable apportent 3,5 g de molybdène tandis que 4 qx de Scories Thomas en fournissent 2 g. Ces quantités correspondent aux exigences d'une bonne récolte céréalière (le grain des céréales contient, selon Mulder, $\pm$ 0,2 — 0,6 g de Mo /kg).

Le cobalt présent dans les engrais, retient également l'attention, étant donné son rôle important chez l'animal. Si l'on tient compte des quantités d'engrais appliquées et de leur teneur en cobalt, seuls le fumier d'étable et les Scories Thomas ont une importance à ce point de vue. En appliquant 70 qx /ha de fumier d'étable, le sol reçoit environ 1,5 g de cobalt ; il reçoit la même quantité par une administration de 4 qx /ha de Scories Thomas.

De ce qui précède, nous pouvons conclure, au sujet des éléments traces présents dans les engrais, que :

1. Grâce à différents engrais, le sol reçoit des quantités importantes d'élément traces et notamment, du manganèse, du cuivre, du bore, du zinc, du fer, du cobalt.

2. Leur assimilabilité a été étudiée au cours de différents essais.

3. Parmi les engrais minéraux, les Scories Thomas sont particulièrement riches en éléments traces.

L'importance de ce dernier engrais ressort de la place importante qu'il occupe dans l'agriculture allemande et européenne.

Pour les pays de l'OECE, on constate pour les années 1955-56 que la consommation totale de P_2O_5 s'est élevée à 2.738.600 tonnes, dont 923.900 tonnes de P_2O_5 sous forme de Scories Thomas, c'est-à-dire 35 %.

Dans l'agriculture allemande, 60 % environ des besoins en P_2O_5 sont couverts par les Scories Thomas.

GERICKE a obtenu les chiffres suivants pour les différents engrais intervenant dans l'approvisionnement de l'agriculture allemande en micro-éléments :

TABLEAU 4. — *Participation en % des engrais dans l'approvisionnement de l'agriculture allemande en micro-éléments.*

Engrais	Mn	Cu	B	Co
Engrais azotés	—	8	—	—
Engrais phosphatés (Sc. Thomas)	100	92	37	100
Engrais potassiques	—	—	63	—
Amendements calcaires	—	—	—	—

Ces chiffres démontrent que c'est le Phosphate Thomas qui fournit les plus grandes quantités de manganèse, cuivre et cobalt et près de 50 % de la quantité totale de bore.

C'est à juste titre que K. SCHARRER a conclu l'exposé qu'il fit en 1957 à Heidelberg en ces termes :

« Les recherches effectuées jusqu'à ce jour sur les micro-éléments et les éléments traces des Scories Thomas, ont montré que ces éléments ont une importance capitale au point de vue de l'enrichissement du sol en manganèse, cobalt, fer et magnésium et par conséquent au point de vue de la nutrition de la plante et de l'animal. »

Des scories de déphosphoration et leur action fertilisante

par

Jean Lefevre (*)

La valeur d'un engrais dépend sans doute de sa richesse en éléments actifs, mais son efficacité est également en relation directe avec la nature de ces éléments, leur état physico-chimique, leur degré de solubilité ; on ne saurait non plus la considérer en dehors des réactions du sol auquel l'engrais est incorporé. C'est à la lumière de ces considérations, bien connues des chimistes et des agronomes, que nous désirons préciser quelques faits sur les scories de déphosphoration.

Nous envisagerons donc successivement : la composition de ces scories, le degré de solubilité de leur acide phosphorique et sa vitesse de dissolution, leur évolution dans le sol, les résultats de récents essais culturaux.

I. La composition des scories de déphosphoration.

On connaît la définition légale des scories Thomas, laquelle ne vise que la teneur en P_2O_5, avec indication de la quantité de cet élément soluble dans les acides faibles (acide citrique à 2 %).

Précisons que la législation française n'admet l'indication d'une solubilité citrique que pour les seules scories Thomas, à l'exclusion de tous autres engrais phosphatés.

Les teneurs s'échelonnent de 14 à 22 % mais les dosages les plus courants oscillent entre 16 et 19 %. Ce P_2O_5 est pratiquement insoluble dans l'eau.

On sait aussi que 100 kg de scories contiennent en outre 50 kg de chaux totale dont environ 40 kg en chaux active. Mais ce que l'on sait moins, c'est que les scories renferment des micro-éléments en quantités importantes et que c'est probablement dans la présence de ces micro-éléments qu'il faut aller chercher certaines actions bienfaisantes sur les cultures, ou sur certains sols.

(*) Directeur honoraire de l'Institut National Agronomique de Paris ; Président du Conseil d'Administration de l'Institut National de la Recherche Agronomique ; Membre de l'Académie d'Agriculture de France.

Une étude systématique de cette composition chimique a été réalisée récemment par le laboratoire de Physico-chimie de l'Institut National Agronomique de Paris (Prof. SERVIGNE). 152 prélèvements ont été faits dans 14 usines différentes. Il a été recouru pour les analyses à des méthodes physiques extrêmement précises et expéditives (spectrographie d'arc et spectrophotométrie de flamme). Il n'a pas été constaté de grandes différences entre les scories des diverses provenances en ce qui concerne les macro-éléments classiques, phosphore, calcium, fer et les teneurs moyennes en sont connues. Mais le problème était moins d'opérer un dosage de ces macro-éléments que de prospecter soigneusement les scories au point de vue des éléments mineurs d'action biologique marquée : il a fallu inventorier des raies spectrales dans des spectres d'émission souvent complexes. Les résultats d'une telle étude peuvent se résumer ainsi :

1° *manganèse, magnésium, bore, cuivre, cobalt, molybdène* sont toujours présents et en quantités importantes, surtout pour les deux premiers avec 2 à 3 kg par quintal du produit ; pour les autres, il s'agit de moins de 10 gr.

2° Le *vanadium* dont le rôle biologique est connu, existe dans toutes les scories : la dose n'excède pas 0,6 %. La teneur en *titane* est encore plus faible (0,4 %). Le *chrome* est à l'état de traces.

3° Il n'a pas été trouvé d'autres éléments mineurs biochimiquement actifs ; pas non plus d'éléments rares de la famille du platine, ni d'éléments de terres rares.

4° Enfin, aucun échantillon n'avait une radioactivité notable à l'électroscope.

Il est difficile de déterminer le rôle précis de ces éléments mineurs dans les apports de scories, mais il est raisonnable de penser que l'emploi régulier de cet engrais permet d'éviter certaines carences du sol.

Revenant à l'acide phosphorique, nous rappelons que sa forme dans les scories usuelles reste indécise. On considère généralement que le constituant le plus important serait le phosphate tétracalcique CaO, $Ca_3\ (PO_4)_2$ et qu'en outre on y trouverait la carnotite ou plutôt la silico-carnotite $Ca_3\ Si\ O_4$, $Ca_3(PO_4)_2$. Ce que l'on peut affirmer c'est que l'acide phosphorique se trouve dans les scories sous forme de combinaisons complexes de phosphates et de silico-phosphates de chaux. Mais ici il y a lieu de faire une différence entre les *scories usuelles* et les *scories granulées*. Dans les premières, il y a prédominance du phosphate tétracalcique ; dans les secondes les combinaisons phosphate de chaux-silicate de chaux tiendraient la plus large place.

Toutes ces considérations relatives à la composition chimique méritent intérêt, mais elles sont dominées par celle de la solubilité du P_2O_5 dont nous parlerons longuement dans un instant.

Une autre notion mérite beaucoup d'attention ; c'est celle de *la structure* des scories granulées. La granulation a été réalisée à peu près en même temps, en Allemagne et en France, par des procédés industriels différents (en France, le nouveau procédé d'obtention a été mis au point aux aciéries de Thionville).

La valeur agronomique de ces scories granulées a été étudiée en Allemagne par le Dr WELTE de l'Institut Agronomique de Göttingen, en France par MM. BARBIER et TROCMÉ, de la Station Centrale d'Agronomie de Versailles. Nous avons fait de larges emprunts aux travaux de ces deux savants pour rédiger la seconde partie de ce rapport, qui traite non seulement de la valeur agronomique comparée des différentes scories mais rapproche les scories d'autres engrais phosphatés.

Les granules sont de forme à peu près sphériques ; il en était fort peu (3 à 4 %) qui avaient un diamètre supérieur à 2 mm, la moitié environ des produits mis en comparaison était constituée par des granules de 0,2 à 0,5 mm, et un quart par des granules de 0,1 à 0,2 mm.

Comme l'on pouvait le prévoir, la densité apparente est plus basse dans les granulées : l'étude microscopique révèle en effet chez ces dernières sous une couche extérieure compacte, des cavernes de taille et de forme irrégulières ; une fois broyées, les scories granulées se déposent dans le bromoforme comme les usuelles.

D'après un rapport de l'Institut Fédéral pour l'essai des matériaux à Zurich, l'examen radiographique montre qu'il y a une prédominance de cristaux ne dépassant pas 1 μ, même souvent inférieurs à 1/10 de μ dans les scories granulées, alors que, venant de la même coulée, les scories broyées ont des cristaux toujours supérieurs à 1 μ. Les diagrammes des deux scories finement pulvérisées sont aussi nettement différents ; celui des scories moulues indique une forte proportion de phosphate tétracalcique, celui des scories granulées très peu de ce dernier et par contre des lignes qui ne correspondent à aucun phosphate connu : c'est ce que nous avons mentionné plus haut.

En définitive les deux sortes de scories diffèrent par leur porosité, par la taille de leurs cristaux, par les espèces chimiques et minéralogiques qu'elles renferment.

II. LE DEGRÉ DE SOLUBILITÉ DES SCORIES.

MM. BARBIER et TROCMÉ ont d'abord comparé au laboratoire la solubilité des deux sortes de scories, cela avec le procédé conventionnel à l'acide citrique à 2 %. Ils ont constaté que les scories granulées se dissolvaient plus lentement dans l'acide citrique que les scories usuelles finement pulvérisées. Mais il importait surtout de voir comment les deux produits se comportaient dans le sol, la solubilité dans un réactif conventionnel n'ayant qu'une valeur relative. Nous insistons sur ce point particulier et croyons devoir citer ici une étude toute récente de MM. GADET et SOUBIES à la Station de Recherches de l'ONIA, à Toulouse sur l'appréciation des engrais phosphatés par le citrate d'ammoniaque ; le citrate employé est neutre ou plus ou moins alcalin suivant les pays. Par des essais culturaux soignés, MM. GADET et SOUBIES ont montré que sous le climat du Midi de la France la méthode d'analyse au citrate neutre donnait

des indications qui s'éloignaient toujours et quelquefois grandement des résultats contrôlés de végétation.

Nous estimons qu'il est hasardeux de séparer l'engrais du sol, surtout ici en raison du mécanisme particulier de l'alimentation de la plante en P_2O_5. Nous rappelons que la teneur des solutions du sol en acide phosphorique est toujours très faible, de l'ordre de 0,2 à 0,5 mg par litre, ce qui correspond à une quantité minime (moins de 1/2 kg par hectare). Mais la concentration tend à rester constante et au fur et à mesure que la plante absorbe des ions phosphoriques, ceux-ci sont remplacés par d'autres fixés préalablement sur les colloïdes du sol. La concentration des solutions du sol en acide phosphorique est donc le résultat d'un équilibre entre deux forces opposées : la dissolution dans l'eau et la rétention par le complexe argilo-humique. Le degré de concentration du P_2O_5 de la solution en équilibre dans le sol ne peut augmenter que dans la mesure où le complexe argilo-humique lui-même s'enrichit. On peut donc suivre le mouvement de la fixation du P_2O_5 de l'engrais sur le complexe en suivant la courbe de la concentration de la solution du sol. C'est de cette façon que MM. Trocmé et Barbier ont effectué une première série d'essais. Ils ont opéré avec deux terres de limons de *p*H différents, l'une de *p*H 6,8 l'autre de *p*H 7,5, les additionnant de scories de différents calibrages, et les maintenant à une teneur en eau déterminée.

Des analyses successives ont abouti aux constatations suivantes :

a) la solution du sol s'enrichit en P_2O_5 d'autant plus vite que les scories sont plus fines.

b) A calibre égal, les scories granulées employées ont cédé dans le même temps plus de P_2O_5 que les scories usuelles. Pour la granulation moyenne (0,05 à 0,15 mm) la vitesse de dissolution reste comparable à celle des scories usuelles ; elle est inférieure à celle des fractions fines du produit.

Il y avait lieu de compléter ces travaux de laboratoire par des essais culturaux : les auteurs y ont procédé par la méthode des vases de végétation, mais cette fois avec des terres argilo-calcaires (10 % de CO_3Ca), donc moins favorables à la dissolution des phosphates basiques peu solubles. Ils ont assuré préalablement une fumure azoto-potassique convenable. L'incorporation des scories au sol a été faite trois mois avant le semis. L'humidité a été maintenue à 18 %. Une première culture (orge) a été suivie d'une culture de moutarde sans nouvel apport de P_2O_5. Conjointement le superphosphate a été étudié. On a mesuré les quantités de P_2O_5 prélevées par les parties aériennes des plantes.

a) A calibrage égal, les scories granulées ont mieux agi que les scories usuelles sur la première culture : surtout pour les calibrages grossiers ($>$ 0,5 mm). En compensation, l'effet résiduel sur la deuxième culture est moins marqué pour les scories granulées. Pour l'ensemble des deux cultures, les quantités de P_2O_5 fournies aux plantes par les deux scories sont voisines.

b) Les scories tout-venant ont montré sensiblement la même efficacité pour les deux modes de fabrication.

Conclusions.

Les constatations qui viennent d'être exposées se rapportent à une première série d'expériences faites par MM. Barbier et Trocmé, expériences terminées il y a déjà quelques années. En faisant connaître leurs premiers résultats, ces auteurs ont souligné avec raison la nécessité de poursuivre les expériences. Une seconde série d'essais a donc été entreprise qui est en voie d'achèvement. Les analyses n'étant pas terminées, nous n'avons pas eu la possibilité de faire apparaître ici les conclusions de cette nouvelle étude : nous pouvons toutefois dire qu'elles semblent devoir confirmer celles qui ont été exposées plus haut.

Par ailleurs des expérimentations sont en cours. La Société Nationale des Scories Thomas vient de lancer, sous l'égide de l'Institut National de la Recherche Agronomique et des Directions des Services Agricoles départementaux des essais comparatifs de scories ordinaires et de scories granulées qui vont se poursuivre plusieurs années sur l'ensemble de la France, dans des sols et des climats variés.

Les résultats obtenus aideront à dégager les conclusions pratiques auxquelles aspirent agriculteurs et industriels dans le domaine de la présentation des scories.

Il convient donc, à ce jour, de faire la distinction de ce qui est acquis et de ce qui est seulement probable. C'est dans cet esprit que nous formulerons nos conclusions, en situant d'ailleurs les scories dans l'ensemble des engrais phosphatés.

1° Au laboratoire, les phosphates des scories sont relativement *peu solubles dans l'eau*. Le tableau ci-dessous de MM. Barbier et Trocmé donne les solubilités approximatives, en m/mg par litre, dans une eau naturelle calcique neutre, de quelques engrais phosphatés.

Nature du Phosphate	Solubilité approximative (après 2 jours d'agitation)
Monocalcique	très grande (50.000)
Bicalciques hydratés	5 à 15
Scories de déphosphoration	2 à 5
Tricalcique vrac $Ca_3(PO_4)_2$	1 environ
Phosphates du sol	0,2 à 0,5
Phosphate naturel d'Afrique du Nord	0,03
Hydroxylapatite $Ca_5(PO_4)_3OH — H_2O$	0,013 (à 35°)

Sans doute, ces chiffres ne correspondent pas nécessairement à un équilibre de dissolution, lequel n'est atteint que lentement ; mais dans tous les cas le P_2O_5 des scories est *beaucoup plus soluble (de 1 à 10) que les combinaisons*

phosphoriques du sol, les ions PO_4 étant retenus par les argiles et par l'humus. On conçoit qu'ils puissent dans ces conditions se dissoudre dans les solutions du sol et augmenter la concentration en acide phosphorique de ces solutions en la portant à son taux optimum de 1 mg par litre.

Par ailleurs, les scories sont beaucoup plus solubles que les phosphates naturels (en gros, 100 fois plus). Cette observation ne restreint pas l'action de certains phosphates naturels, friables, et finement moulus dans les sols à *p*H nettement acide.

2° La dissolution des scories dans le sol se poursuit au fur et à mesure que les ions PO_4 passés en solution sont captés par les argiles. Il y a donc utilité d'une digestion préalable du produit par les argiles grâce à un enfouissement par le labour.

3° *La solubilité du* P_2O_5 *des scories augmente rapidement au fur et à mesure que s'abaisse le* pH *et inversement.* MM. BARBIER et TROCMÉ mentionnent, entre autres chiffres, que 100 gr de scories prises parmi les échantillons les moins solubles qu'ils ont étudiés ayant été agités pendant 48 h avec 200 cc d'eau ordinaire additionnée d'acétate de Ca, N/50, avec des *p*H croissants de 5,0 à 7,9 ont abandonné par litre de solution de 4,2mg à 0,23 mg de P_2O_5.

Convient-il dans ces conditions de considérer que les scories n'agissent pas en terres calcaires, fortement basiques ? L'expérience prouve qu'il n'en est rien.

Si le superphosphate marque au départ dans de tels sols une supériorité, à quantité égale de P_2O_5, l'action des scories, plus lente et plus durable, n'en est pas moins certaine et elle améliore les rendements dans la plupart des terres calcaires lesquelles sont pauvres en P_2O_5. WAGNER en Allemagne, GRANDEAU, BURGEVIN, HENIN, RADET en France, GISIGER en Suisse, MEURICE en Belgique l'ont souligné depuis longtemps. C'est que les conditions complexes du milieu « sol » peuvent s'éloigner largement des conditions de l'expérience en laboratoire. La variété des calcaires est grande. Comment réagissent les ions Ca en face des acides organiques secrétés par les racines ? La concentration des solutions en ions PO_4 est déjà faible dans de semblables terrains ; que devient-elle au niveau des racines et des colonies microbiennes qui, par leur absorption de P_2O_5, peuvent déplacer un équilibre, abaisser le *p*H, donc favoriser la dissolution de l'élément envisagé ?

Et puis, on ne peut oublier la présence dans le sol de particules colloïdales susceptibles d'absorber les divers ions libérés par cette dissolution : les matières humiques même à l'état d'humates calciques neutres exaltent grandement la dissolution de l'acide phosphorique.

En Allemagne, on considère volontiers que les scories ont la même valeur que le superphosphate dans tous les sols, *même dans les sols calcaires.* MM. BARBIER et TROCMÉ estiment pour leur part qu'en France, si pendant les premiers mois, le superphosphate est plus actif, l'action des scories est plus lente mais aussi plus longue, plus soutenue.

4° Les résultats obtenus jusqu'ici par les essais de scories granulées sont très encourageants. La granulation ne fait pas perdre aux scories leur action fertilisante. Si leur action devait être un peu plus lente que celle des scories usuelles, surtout en sol non acide, comme le disent MM. Barbier et Trocmé, « ce n'est pas un vice rédhibitoire pour un engrais d'agir lentement, si son action finale est satisfaisante. Mais cela oblige l'agriculteur à faire au sol une avance d'engrais, à investir dans le sol un certain capital ; une plus grande facilité d'épandage — et nous ajoutons une plus grande facilité de mélange — peuvent compenser en partie cet inconvénient ».

INSTITUT NATIONAL POUR L'ÉTUDE AGRONOMIQUE DU CONGO

Importance relative des facteurs agrologique et climatique lors de la définition des exigences minérales de diverses spéculations végétales

par

André L. MOLLE (*)

1. INTRODUCTION.

Parmi les travaux sur la fumure minérale des plantes cultivées, les divers établissements de l'Inéac ont réalisé au cours des années précédentes une série d'essais ayant en commun la méthode d'étude et ne se distinguant entre eux que par les spéculations végétales auxquelles ils étaient appliqués, les années ou mieux les campagnes au cours desquelles ils furent réalisés et enfin par la diversité même de la distribution géographique des situations, c'est-à-dire donc des sols.

Il a paru intéressant de comparer l'influence de ces divers facteurs sur la détermination des exigences de fumure et de tenter d'en dégager une ligne de conduite tant dans l'interprétation que l'établissement de programme d'investigation ultérieure.

2. LES CONSTANTES DES ESSAIS.

Tous les essais relatés ci-après ont été conduits selon la méthode des variantes systématiques proposée par le Professeur HOMES (1).

---

* Ingénieur agronome A. I. Gx ; Docteur en Sciences botaniques ULB ; Maître de Recherches, Institut National pour l'Étude Agronomique du Congo Belge.

Note présentée à la III[e] Conférence Interafricaine des Sols organisée par la C.C.T.A. à Dalaba (Rép. de Guinée).

(1) M. V. HOMES, G. VAN SCHOOR et J. R. ANSIAUX, *Détermination de la fumure en champs par la méthode des variantes systématiques*. C. R. V[e] Congrès Intern. Science Sol. Léopoldville 1954. Vol. IV, n° 29, p. 322 sq.

Il n'entre pas dans l'objet de cette note de discuter des fondements de cette méthode. Rappelons toutefois que la comparaison de six formules complètes, — dont trois correspondent à des variations anioniques et trois à des variations cationiques — doit permettre de définir la composition ionique d'une formule optimum pour un niveau de dose donné et constant dans l'essai.

Un témoin, absence de tout traitement chimique, est incorporé dans le schéma expérimental classique. Les essais ont été conduits selon les exigences biométriques particulières à chaque milieu (nombre de répétitions, forme et dimensions parcellaires) et selon l'un ou l'autre plan classique *(blocs randomisés complets, carrés latins et carrés de Youden).*

3. Les variables des essais.

Trois variables principales sont introduites par le choix des situations.

a) *les variables agrologiques.*

Les essais ont été réalisés par les expérimentateurs des Stations suivantes : Bambesa, Boketa, Nioka, Kisozi, Gandajika, Kaniama, M'vuazi et Lubarika (1).

b) *les variables d'espèce végétale.*

Deux espèces végétales différentes ont été étudiées dans chacun de ces milieux. Le maïs partout, le cotonnier à Bambesa, Boketa, Gandajika et Lubarika ; le tabac à Kaniama ; le froment et l'orge à Kisozi ; l'arachide à M'Vuazi et deux types de formation végétale paturée à Nioka. Une assez large diversité d'exigences a donc été rencontrée.

c) *les variables climatiques.*

Il ne saurait être question dans cette note, forcément brève, d'envisager l'effet des composantes du climat sur les rendements, mais uniquement de voir ce que la répétition annuelle d'un essai apporte comme modification aux résultats, lorsqu'il n'existe d'autres différences que celle due au climat dans son ensemble.

Chaque essai a été répété deux années consécutives, sur sol identique, ayant supporté une rotation analogue.

Au total il est rendu compte de trente-six expériences.

---

(1) De plus amples détails agrologiques sur ces diverses Stations peuvent notamment être trouvés dans : Croegaert, J. et Molle, A., *Valeur agricole de quelques sols du Congo Belge.* Pédologie. Vol. VII, p. 145-1957.

4. Les résultats acquis.

Les tableaux 1 à 8 rendent compte des rendements enregistrés à l'ha par l'application de 700 kilogrammes de chaque formule dans le cas du maïs, 500 dans les autres spéculations. Les récoltes sont exprimées, selon les spéculations, en grain sec (maïs, froment, orge) en coton-graine ou simplement en matière sèche (tabac, pâturage). Les traitements sont conventionnellement représentés par le symbole chimique de l'élément dominant dans le groupe chimique considéré. Il va de soi que les autres éléments sont également présents dans chaque formule selon des proportions définies par application de la méthode.

Outre les rendements observés, la première partie de chaque tableau fournit encore le rendement moyen par spéculation et l'« effet global ». Le calcul de ce dernier est précisé en annexe 1.

La seconde partie a trait à l'analyse détaillée de la variance de chaque essai. On remarquera que celle-ci a été poussée assez loin afin de mettre en évidence les effets propres aux groupements chimiques (anions et cations). Un exemple détaillé de ce calcul est donné en annexe 2. Le degré de signification des rapports de variance est établi selon la table de H. W. Norton (1) : $^{+++}$ signifiant une probabilité supérieure à 0,1 ; $^{++}$ supérieure à 1,0 ; $^{+}$ supérieure à 5,0 ; et ( ) une tendance.

De plus tous les rapports de variance significatifs à une probabilité supérieure ou égale à 5% sont encadrés.

Enfin il convient encore d'attirer l'attention sur l'estimation de l'effet des variations de composition ionique au sein d'un même groupe chimique sur les rendements, ce qu'exprime les valeurs de A (anions) et de C (cations) des tableaux, valeurs établies selon la méthode proposée en annexe 3. Le degré de signification de ce terme ne peut être calculé mais si l'on rapproche les valeurs trouvées des analyses correspondantes de la variance, on constate qu'à un coefficient d'effet moyen d'environ 3% correspond un niveau de probabilité de l'effet traitements de 95 chances sur 100 ou une probabilité 5,0.

5. Discussion.

La mise en évidence des effets relatifs des facteurs écologiques est établie de manière diverse.

a) *Sur la base des rendements.*

Un premier coup d'œil sur les tableaux montre que, à quelques exceptions

(1) Variance ratio. In R. A. Fisher and F. Yates, *Statistical tables for biological agricultural and medical research.* Oliver and Boyd. London 1957, p. 47 sq.

près, la concordance entre les résultats de deux essais successifs de chaque espèce végétale, peut être qualifiée de bonne. Elle paraît meilleure entre les deux spéculations envisagées.

Occupons-nous tout d'abord des quelques cas discordants. A Boketa et Gandajika, les positions relatives des divers traitements anioniques varient d'une saison à l'autre pour le maïs. Dans le premier cas, il s'agit d'une différence entre unité pédologique sur lequel les deux essais ont été implantés, ce qu'attestent d'ailleurs les rendements des témoins (2.044 kg/ha, contre 895 kg/ha). L'essai de seconde année a été réalisé dans un sol formé d'un sable de recouvrement d'origine éolienne, peu profond ; tandis que le premier était réalisé en latosol forestier humifère profond argilo-sableux en phase normale. Dans le second cas, il s'agit surtout d'un effet climatique important.

Le manque d'homogénéité dans les réponses à Lubarika doit être attribué surtout à l'absence assez générale d'efficacité des engrais appliqués : aucun des essais n'a d'ailleurs été statistiquement valable, et ce cas particulier ne saurait être retenu. La même situation prévaut à M'Vuazi pour les essais sur arachide.

A Nioka, les deux expériences sur pâture ont été établies sur des formations végétales assez diversifiées. La première est, en fait, une pâture améliorée, notamment par l'introduction de Trifolium repens qui a particulièrement bénéficié des apports de phosphate ; tandis que le second est un parcours naturel, protégé contre le feu et amélioré par diverses façons culturales. On pouvait donc normalement s'attendre à rencontrer là des exigences azotées importantes.

Un certain nombre de cas complémentaires ont été introduits à dessein. A Bambesa, la seconde répétition de l'essai sur cotonnier a été réalisée simultanément sur deux unités pédologiques différentes, qui sont d'ailleurs rencontrées fréquemment dans la région.

La modification d'exigences (tableau 1) est frappante.

A Kaniama, le même principe a été suivi en ce qui concerne le dernier essai sur tabac, avec des résultats moins nets (tableau 6).

A Kisozi, l'essai sur froment a été répété sur orge en conditions édaphiques analogues et conduit à une bonne similitude des données pour autant que l'imprécision de l'essai sur orge permette une comparaison fructueuse. Cet ensemble d'arguments vient en somme étayer encore l'impression générale résumée ci-dessus et dans le tableau 9.

En résumé, on retiendra que la comparaison des exigences d'espèces assez diverses en un même milieu conduit à une conclusion commune, exception devant toutefois être faite lorsque la comparaison oppose une légumineuse à une graminée. L'influence des unités pédologiques sur les effets relatifs des traitements est marquante.

b) *Sur la base de la composition des formules optimales.*

L'établissement de la composition des formules ioniques optimales dans chaque situation et leur comparaison entre elles permettraient également d'étudier les effets des facteurs écologiques. L'établissement de telles formules n'est pas l'objectif poursuivi dans la présente note.

c) *Selon les données de la corrélation de rang* (1).

Le principe en est simple : il consiste à comparer deux séries d'observations portant sur les mêmes traitements en ne prenant en considération que le rang dans lequel ces traitements se classent dans les deux séries. Les résultats des présents essais se prêtent à cette interprétation statistique. On tire de ces comparaisons par couple un coefficient de corrélation dont le tableau 9 rend compte.

La concordance entre les deux répétitions des essais sur maïs (0, 7550) est meilleure que celle de la moyenne des autres espèces (0,6296) en raison même de leur diversité. La concordance moyenne entre les exigences de deux espèces est très bonne (0,9017) et supérieure à la comparaison d'année en année. On pourrait donc conclure que l'influence climatique est plus forte que celle relative aux espèces végétales.

Enfin, le coefficient de corrélation de rang obtenu lorsque les unités pédologiques sont modifiées (cas de Kaniama et de Bambesa) montre que l'incidence de cette modification est également appréciable.

(Comparer 0,5715 à 0,9643 et 0,7858 à 0,9643).

d) *Selon une étude factorielle.*

Cette étude a porté sur l'ensemble des quatre premières situations (Bambesa, Boketa, Gandajika et Lubarika) présentant l'avantage de n'opposer que deux espèces végétales seulement (le maïs et le cotonnier), chacune d'entre elles ayant fait l'objet de deux épreuves successives.

Si l'on envisage, par exemple, deux situations et dans chacune d'entre elles, les deux essais successifs, sur le cotonnier et le maïs, on peut soumettre les effets ioniques moyens ou élémentaires définis antérieurement à une analyse factorielle du type 2^3.

Un exemple détaillé de calcul est donné en annexe 4.

En répétant cette analyse pour les six couples de situations, on obtient une image moyenne de l'effet des facteurs testés (tableau 11).

L'azote détermine en moyenne des variations de rendements de l'ordre de 6 et 2% selon les facteurs envisagés, par rapport au rendement moyen de l'ensemble des traitements anioniques et non pas par rapport au témoin.

---

(1) SNEDECOR, G. W. *Statistical methods.* Iowa State college Press, 1950, p. 164, rank correlation.

L'examen du tableau 11 montre que les anions déterminent des variations plus considérables que les cations. De plus, l'influence des trois facteurs écologiques testés montre que l'ordre d'intérêt qu'il faut leur réserver met l'accent sur l'effet du sol, puis du climat et enfin seulement des exigences différentes du maïs et du cotonnier.

Si l'on compare les éléments entre eux, on constate que tous dépendent davantage du sol que de tout autre facteur étudié, sauf le phosphore, dont l'efficacité semble davantage liée aux conditions climatiques.

L'examen des interactions est moins sûr mais indiquerait, semble-t-il, un comportement différent de l'azote et du phosphore, le premier étant sensible aux interactions où entre l'effet spécifique du végétal, le second uniquement à l'action conjointe du sol et du climat. En général, seule l'interaction sol-plante marque une avance sensible sur les autres en ce qui concerne les cations.

e) *D'après les variations moyennes enregistrées dans des tableaux à double entrée* (sol-plante ; plante-climat et climat-sol).

Le tableau 12 résume les calculs.

On sera tout d'abord frappé par le fait que les valeurs moyennes des effets élémentaires sont toujours supérieures aux valeurs établies à partir des effets moyens. Par exemple dans le cas des anions 45,3% d'« effet édaphique » est moyen entre 93,8, 30,9 et 11,2. Il provient de l'étude des huit cas possibles pour l'azote (donnant 93,8) huit cas relatifs au soufre (soit 30,9) et huit cas du phosphore (11,2%). La valeur 33,8% est établie directement à partir des huit valeurs de cœfficients d'effet moyen établis antérieurement.

Cette constatation est particulièrement remarquable dans le cas des cations (où l'on trouve 35,9% contre 18,4, 11,0 contre 0,9 et 12,6 contre 6,4%) dénotant une sorte de substitution et de compensation des actions qui n'est certes pas le fait des éléments du groupe anionique, qui agiraient donc davantage d'une autre manière et probablement selon un effet de masse. Ici encore l'effet « édaphique » l'emporte en importance sur les autres suivi par l'effet « climatique ».

En conclusion, il paraît donc clairement démontré que la définition des exigences minérales est d'abord et avant tout sous la dépendance de conditions édaphiques ; que les facteurs climatiques in toto interviennent ensuite pour une part non négligeable dans la définition d'une composition optimale ; que les exigences spécifiques du végétal enfin doivent être prises en considération lorsque l'influence des autres facteurs a été estimée.

Toutefois, on ne perdra pas de vue que ces conclusions ne sont valables que pour autant que l'on se replace dans les conditions de sol, vierge d'apports minéraux ou reposé, dans lesquelles les essais ont été réalisés. Le devenir des engrais appliqués, mesuré par les cultures subséquentes se pose donc,

au même titre d'ailleurs que l'effet d'application suivie d'engrais à une rotation complète sur l'importance respective des trois principaux facteurs écologiques envisagés.

S'il n'est guère possible dans l'état actuel des travaux de fournir des informations dignes d'intérêt sur la seconde partie du problème ainsi posé, l'examen des « arrière-effets » est susceptible de jeter quelque lumière sur la première.

Sur la base de coefficients de corrélations de rang établis pour 12 essais entre effet direct et arrière-effet, il semble admissible de dire que le parallélisme des effets est acquis. En effet le coefficient de corrélation moyen est de 0,8394, significatif à P 0,03 environ.

On signalera, de plus, que six essais caractérisés par un rang préférentiel de l'azote ne donnent qu'un coefficient moyen de 0,7542, alors que les six autres à classement préférentiel du phosphore ont un coefficient moyen de 0,8573. Ceci n'est forcément qu'un exemple mais il va sans dire que le parallélisme des effets directs et d'arrière-action ne saurait être parfait en toute condition en raison même du nombre considérable de facteurs en cause et de leurs interactions.

L'étude de l'intensité relative des arrière-effets en fonction des effets directs montre qu'il existerait une sorte d'équilibre entre ces deux actions, les effets indirects étant d'autant plus intenses (par rapport au témoin) que les effets directs sont plus réduits et vice-versa. Ainsi qu'on peut le constater au tableau 13, ceci serait particulièrement le fait des variations climatiques (campagnes ou cas successifs) en ce qui concerne les anions. En effets, les variations dues à la comparaison effet direct — arrière effet sont successivement de 3,4% (Gandajika), 23,3% (Boketa), 4,0% (Kisozi) contre 6,9%, 43,0% et 43,2% de la même moyenne générale dans les mêmes situations, selon les cas envisagés.

Les valeurs correspondantes pour le groupe cationique seraient

comparaison direct-indirect	14,1% — 24,8% — 25,7%
comparaison des cas	10,7% — 8,2% — 12,2%

Ici, l'effet serait donc inverse et plus vraisemblablement dû à une action complexe où le sol et le climat interfèrent simultanément. Constatons enfin que les arrière-effets cationiques sont, en moyenne, plus importants que les effets directs dans les sols bien saturés de Gandajika et de Boketa (7,26 /6,77 ; 7,24 / 5,45 ; 7,24 / 4,51 ; 7,11 /4,28) à l'inverse des sols désaturés de Kisozi (18,14 / 19,67 ; 5,61 / 9,49) où il semblerait qu'ils se fixent très rapidement.

Pour terminer l'étude de ces divers essais, nous avons tenté de relier l'efficacité des engrais appliqués à certains caractères agrologiques (1). C'est entre

(1) La relation entre efficacité moyenne (c. à. d. taux moyen d'accroissement de tous

le taux de saturation du complexe et cette efficience que la meilleure relation a pu être établie. Toutefois, elle n'est guère valable selon les critères biométriques, ce qui se conçoit aisément en raison de la grande diversité de facteurs agissant en sens divers au sein de la population réduite disponible, et dont nous avons précisément mis en évidence l'importance dans les lignes précédentes. Une telle étude ne pourrait probablement aboutir qu'à condition d'opérer selon une échelle régionale.

6. Conclusions.

1. Si l'on considère les facteurs écologiques suivants :

— unités pédologiques
— climat.
— espèce végétale
l'ordre selon lequel ils sont présentés rend compte de l'importance relative de leur action de variation sur la détermination d'une fumure minérale.

2. Il est donc plus utile de définir une fumure minérale selon les unités pédologiques qu'en fonction des spéculations végétales, du moins dans l'état actuel des connaissances.

En d'autres mots, à condition que l'expérimentation ait été reconduite un nombre suffisant de saisons consécutives, il paraîtrait possible de définir les aspects fondamentaux de la fumure minérale en fonction des unités pédologiques sans se préoccuper au premier chef des exigences propres à chaque espèce végétale.

3. La reconnaissance d'une telle tendance générale, que l'on ne peut raisonnablement élever à l'état de règle faute de points de comparaison suffisamment nombreux pour le moment, met cependant en lumière :

a) L'importance fondamentale de la connaissance rationnelle des unités pédologiques et leur distinction selon des critères propres à la science du sol.

b) L'intérêt de l'établissement des exigences minérales à l'échelle régionale par un réseau écologique d'essais multi-locaux, c'est-à-dire englobant et mesurant, pour une même spéculation végétale les effets édaphiques.

Ceci trace, par le fait même, la méthode la plus fructueuse d'aborder les problèmes de fumure.

---

les traitements par rapport au témoin) et les effets moyens anioniques et cationiques peut s'exprimer comme suit :
$Y = 1{,}681\ X_1 + 12{,}834\ X_2 - 28{,}71$, dans laquelle Y est le taux d'accroissement moyen par rapport au témoin, X_1 est l'effet anionique moyen, X_2 est l'effet cationique moyen.
L'efficacité d'un engrais est donc bien liée à l'action de ces composants.

4. Il ne devrait plus être rendu compte d'un essai ou d'une expérimentation quelconque en matière de fumure minérale sans y joindre des renseignements précis et circonstanciés relatifs à l'unité pédologique sur laquelle il est établi.

Faute de ce faire, la généralisation des connaissances en matière de fumure minérale risque de rester impossible, ce qui obligerait les expérimentateurs à reprendre indéfiniment leurs déterminations, le nombre de combinaisons des trois facteurs retenus étant à peu près illimité.

5. La comparaison des *effets directs* et à long terme (« *arrière-effet* ») montre un bon parallélisme. Si donc le but principal d'une recherche est de caractère pratique et surtout économique, il n'y aurait pas lieu de se préoccuper des arrière-actions — celles-ci étant toujours de même signe que l'action directe — pour autant qu'un résultat acceptable soit acquis sous l'effet immédiat des apports d'engrais.

Toutefois l'existence d'un certain nombre de situations — dont il n'est pas rendu compte ici — où l'arrière effet de certains traitements conduit à un rendement inférieur à celui obtenu en l'absence de traitement (témoin) semble indiquer que le problème de la fumure à longue échéance doit être envisagé et étudié en soi. L'importance relative des fractions anionique et cationique de la fumure dans ces cas particuliers devrait retenir plus précisément l'attention. L'opinion de l'auteur est que l'importance de la fraction cationique des fumures apportées tant en quantité qu'en qualité irait croissant à mesure que les applications minérales se succèdent sur un même terrain, leur effet sur le rendement paraissant lié au taux de saturation du complexe adsorbant.

6. La mesure de l'efficacité des applications d'engrais (relative ou absolue) n'était pas l'objet principal de cette note. Toutefois il apparaît que l'efficacité d'une fumure, serait meilleure lorsque le complexe adsorbant est bien saturé.

Cependant à partir d'un taux de saturation élevée (au-delà de 80%), d'autres facteurs de développement des plantes deviennent probablement limitants et l'effet de l'alimentation minérale se marquerait moins.

7. Dans le système de classification proposé par K. SYS (1), le niveau auquel la concordance entre les caractères pédologiques et la définition d'une fumure minérale serait vraisemblablement la meilleure se situerait entre les petites familles et les séries à l'échelle régionale.

La notion de saturation du complexe adsorbant dont on a dit qu'il déterminerait l'efficacité globale des fumures minérales se situe plus haut dans la classification. Mais à ce niveau, on serait insuffisamment informé sur la composition proprement dite de la fumure qui dépendrait notamment des unités lithologiques.

---

(1) K. SYS, *La carte des sols du Congo belge et du Ruanda-Urundi*. Pédologie, X, 1, p. 48, 1960.

Enfin la productivité d'une spéculation donnée dont dépend également la rentabilité de la fumure serait fonction, régionalement, de la texture et se situerait donc au niveau de la série ou même plus bas.

8. A tout niveau d'efficacité relative donné, la fraction cationique détermine des variations du rendement de même ordre de grandeur que celles induites par la fraction anionique.

Toutefois la part de la fraction anionique dans la détermination du rendement final paraît d'autant plus considérable que le taux de saturation du complexe adsorbant est plus faible. Du fait que toute l'expérimentation décrite a été établie à dose constante apportée, cette conclusion paraît plus proprement explicitée lorsque l'on considère les proportions relatives entre anions en lieu et place du terme fraction anionique ; ce qui revient à dire que l'importance d'une définition correcte de l'équilibre anionique est plus grande que celle de l'équilibre cationique dans ces conditions.

L'inverse se produirait vraisemblablement lorsque le taux de saturation augmente. L'auteur propose 40% de saturation comme limite supérieure des taux de saturation faible et 60% comme limite inférieure des taux de saturation élevée. Des précisions sont impossibles à donner entre ces deux valeurs, du moins en ce qui concerne l'efficacité relative des fractions anionique et cationique dans les fumures.

9. D'une manière plus généralisée mais encore tentative, la réaction à la fumure pourrait être définie dans ses grandes lignes de la façon suivante. Lorsque le taux de saturation du complexe adsorbant est très bas, c'est-à-dire au moins inférieur à 40% l'efficacité de la fumure minérale serait fonction de l'équilibre anionique choisi, mais comporterait une fraction cationique importante destinée à combler le déficit du sol à cet égard. L'équilibre cationique de cette fumure paraît sans importance eu égard au sol.

Par contre lorsque le taux de saturation du complexe dépasse 60% l'efficacité de la fumure paraît davantage conditionnée par les proportions relatives entre cations, tout en réservant une part plus considérable à la masse des anions dans la détermination du rendement final. Ces considérations paraissent en accord avec les résultats expérimentaux recueillis au Congo Belge et au Ruanda-Urundi — tels qu'il en est rendu compte d'une manière synthétique dans un travail récent (1).

7. Remerciements.

L'auteur est redevable à Monsieur M. Luttgens, Chef du Bureau des engrais de l'INÉAC, de son aide matérielle et de ses conseils en matière de biométrie.

---

(1) A. L. Molle et M. Luttgens, *État des connaissances pratiques en matière de fumure minérale au Congo Belge et au Ruanda-Urundi*. Bulletin agricole du Congo Belge. Vol. L, n° 5, p. 1207 à 1244. 1959.

Monsieur CROEGAERT a bien voulu revoir le manuscrit en ce qui concerne le choix des termes dans le domaine de la pédologie.

De nombreux expérimentateurs ont participé à la réalisation des essais cités. Il n'est guère possible de les citer tous, mention spéciale doit toutefois être faite des travaux en préparation de Messieurs CHALON (Gandajika) PIERSON et BRUYÈRE (Kisozi) DENYS (M'Vuazi) BANNINK (Bambesa) dont sont extraits les tableaux 1 à 8. Nous tenons à leur exprimer nos vifs et sincères remerciements.

RÉSUMÉ.

Après avoir mis en évidence le rôle respectif que les facteurs édaphique, climatique et spécifiquement végétal peuvent jouer dans la définition de fumures minérales, l'auteur dégage des conclusions relatives à l'organisation des recherches agronomiques dans ce domaine et à l'interprétation des résultats acquis, dans le cadre écologique général.

La note met l'accent sur l'importance relativement plus grande des facteurs édaphiques et particulièrement pédologiques.

Yangambi, le 18 mai 1959.

ANNEXE 1.

Exemple de calcul du rendement global.

Le cas envisagé est celui de BAMBESA (cf. TABLEAU 1).

Après avoir établi pour chaque traitement la moyenne des rendements, on exprime ceux-ci en fonction du témoin sous forme de pourcentage.

Ainsi, pour N, $1.738 + 2.391 \rightarrow 2.064$

S $1.715 + 2.382 \rightarrow 2.048$

.

.

.

Té $1.482 + 1.675 \rightarrow 1.578$

Puis $\frac{2.064 \times 100}{1.578} = 130{,}7$ etc...

Il vient ainsi pour

	le maïs	le coton	soit en moyenne
N	130,7	137,2	134,0
S	129,7	133,1	131,4
P	140,6	148,8	144,8
K	142,7	151,7	147,2
Ca	123,5	134,1	128,8
Mg	136,4	145,9	141,1

En fait l'élément d'information valable serait plutôt la matière sèche totale formée par unité de surface, donnée non disponible en général dans les essais au champ. La présente proposition n'est donc qu'une approximation alternative.

ANNEXE 2.

Exemple d'analyse détaillée de la variance.

N. B. Cette étude est due à Monsieur M. LUTTGENS, Chef du Bureau des Engrais, qui est le promoteur de son application.

Le cas choisi est celui de premier essai sur maïs à Bambesa (cfr. TABLEAU I, 1954 A).

Le calcul est établi, comme l'analyse de la variance d'ailleurs sur les rendements parcellaires.

Les totaux par traitement sont :

N	83,46	Kg grain sec /parcelle
S	82,34	
P	91,66	
K	95,63	
Ca	84,32	
Mg	88,05	
Té	68,92	
Té	73,46	
	667,84	

La somme des carrés (SC) revenant aux traitements est

$$\frac{83{,}46^2 + 82{,}34^2 + \dots 73{,}46^2}{8} - \frac{667{,}84^2}{64} = 68{,}7274$$

La comparaison des traitements aux témoins consiste à dégager la somme des carrés relative à ces deux groupes soit donc

$$\frac{(83{,}46 + 82{,}34 + \ldots\ldots 88{,}05)^2}{48} + \frac{(68{,}92 + 73{,}46)^2}{16} - CF =$$

$$5.752{,}2544 + 1267{,}0930 - 6968{,}9104 = 50{,}4370.$$

Au sein des traitements, la comparaison des traitements à dominance anionique à ceux à dominance cationique s'établit comme suit :

$$\frac{(83{,}46 + 82{,}34 + 91{,}66)^2}{24} + \frac{(95{,}63 + 84{,}32 + 88{,}05)^2}{24} - CF =$$

$$2761{,}9021 + 2992{,}6666 - 5752{,}2544 = 2{,}3143.$$

Le facteur de correction (CF) correspondant est bien entendu.

$$\frac{(83{,}46 + \ldots\ldots 88{,}05)^2}{48} = 5752{,}2544$$

La comparaison entre témoins sera

$$\frac{68{,}92^2 + 73{,}46^2}{8} - \frac{(68{,}92 + 73{,}46)^2}{16} = 1{,}1992$$

La comparaison entre traitements anioniques devient

$$\frac{83{,}46^2 + 82{,}34^2 + 91{,}66^2}{8} - 2761{,}9021 = 6{,}4732$$

et entre traitements cationiques, de même

$$\frac{95{,}63^2 + 84{,}32^2 + 88{,}05^2}{8} - 2992{,}6666 = 8{,}3036.$$

L'analyse de la variance est donc

Sources de variations	SC	dl	CM
Traitements	68,7274	7	9,8182
Trait. vs Té.	50,4370	1	50,4370
≠ Té.	1,1992	1	1,1992
An. vs. Cat.	2,3143	1	2,3143
≠ An.	6,4732	2	3,2366
≠ Cat.	8,3036	2	4,1518

A titre de vérification 50,4370 + 1,1992 + 2,3143 + 6,4732 + 8,3036 = 68,7273 identique à 68,7274 aux erreurs de décimale près.

Annexe 3.

Exemple de calcul du « coefficient d'effet moyen ».

L'exemple choisi est celui du premier essai sur maïs de Bambesa (cfr Tableau 1 et Annexe 1).

Tous les calculs ont été effectués sur les moyennes des rendements parcellaires, soit donc

pour N 10,4325 Kgr /parcelle
S 10,2925
P 11,4575

La moyenne des traitements anioniques s'établit donc à 10,7275. En exprimant chaque rendement moyen en fonction de cette moyenne, il vient pour

$$N \ \frac{10{,}432 \times 100}{10{,}7275} = 97{,}22$$

S 95,92
P 106,82

Les écarts à la moyenne sont donc de

100,00 — 97,22 = 2,78 % pour N
100,00 — 95,92 = 4,08 % pour S
100,00 — 106,82 = 6,82 % pour P

La moyenne arithmétique de ces valeurs, 4,56% rend compte de l'effet moyen propre aux variations anioniques. Le même calcul, sur les rendements à l'ha, donne

pour N	1738	soit	97,24 %	ou 2,76 %
S	1715		95,95 %	4,05 %
P	1909		106,80 %	6,80 %
moyenne	1787,33			4,53 %

Valeur légèrement différente en raison de l'arrondissement.

Annexe 4

Exemple de calcul factoriel des influences édaphique, climatique et végétale sur l'effet moyen du groupe anionique.

Dans cette analyse, on oppose les traitements factoriels suivants :

a. Gandajika versus Bambesa
b. Cotonnier versus maïs
c. 2e répétition versus 1ère répétition.

Dans le raisonnement, on assimile ensuite le facteur A aux influences édaphiques, le facteur C aux influences climatiques et le facteur B aux influences spécifiques végétales.

L'élément mesuré est ici l'effet moyen anionique (cfr. Tableaux 2 et 4).

L'analyse détaillée donne :

(1)	4,56	1er, maïs, Bambesa
a	5,44	1er, maïs, Gandajika
b	6,31	1er, coton, Bambesa
ab	8,10	1er, coton, Gandajika
c	2,58	2e maïs, Bambesa
ac	16,88	2e maïs, Gandajika
bc	1,95	2e coton, Bambesa
abc	5,86	2e coton, Gandajika

(1)	4,56	10,00	24,41	51,68
a	5,44	14,41	27,27	20,88
b	6,31	19,46	2,67	— 7,24
ab	8,10	7,81	18,21	— 9,48
c	2,58	.88	4,41	2,86
ac	16,88	1,79	— 11,65	15,54
bc	1,95	14,30	.91	— 16,06
abc	5,86	3,91	— 10,39	— 11,30
	51,68			46,88

20,88 : 4 = 5,22
-7,24 : 4 = — 1,81
-2,86 : 4 = — 0,71

Les effets factoriels principaux sont donc :

a (édaphique)	+ 5,22
b (végétal)	— 1,81
c (climatique)	— 0,71

On pourrait éventuellement signaler l'interaction primaire cb (climatique-végétal) en raison de son importance (— 4,01) mais le manque de critère statistique réel ne le permettrait pas, pensons-nous

TABLEAU I.

BAMBESA

RENDEMENTS

TRAITEMENTS	Essais sur maïs 1954 A	Essais sur maïs 1955 A	Essais sur maïs Moyenne	Essais sur cotonnier 1954 B	Essais sur cotonnier 1955 B	Essais sur cotonnier Moyenne	EFFET GLOBAL	Essai sur cotonnier sur sol différent
N	1738	2391	2064	1556	1269	1412	134.0	1365
S	1715	2382	2048	1452	1289	1370	131.4	1101
P	1909	2528	2218	1728	1336	1532	144.8	1166
			2110			1438		
K	1991	2516	2253	1745	1378	1561	147.2	1287
Ca	1756	2141	1949	1557	1202	1383	128.8	1275
Mg	1834	2472	2153	1672	1332	1502	141.1	1341
			2118			1481		
Té	1482	1675	1578	1190	868	1029	100.0	875
A	4.50	2.58		6.31	1.95			
C	4.67	6.60		4.06	5.21			

Analyse de la variance.

	Essais sur maïs 1954 A			Essais sur maïs 1955 A			Essais sur cotonnier 1954 B			Essais sur cotonnier 1955 B			Essais sur cotonnier 1954 B′		
TRAITEMENTS	7	9.81	10.24^{++}	7	37.18	5.91^{++}	6	29.71	32.3^{+++}	7	20.09	17.97^{++}	6	23.58	11.32^{+++}
Trait. vs Té.	1	50.34	52.5^{+++}	1	230.12	36.6^{+++}	1	125.46	136.7^{+++}	1	110.92	99.2^{+++}	1	99.46	47.7^{+++}
	1	1.20	1.25()	1	.68					1	18.25	16.3^{++}			
An. vs Cat.	1	2.31	2.41()	1	1.43		1	7.50	8.1^{++}	1	0.03		1	9.84	4.72^{+}
Dif. an.	2	3.23	3.37^{+}	2	1.93		2	15.47	16.8^{+++}	2	0.71		2	15.10	7.25^{++}
Dif. cat.	2	4.15	4.33^{+}	2	12.10	1.92()	2	7.16	7.8^{++}	2	5.02	4.49^{+}	2	1.00	.48
ERREUR	49	0.95		49	6.28		42	0.91		35	1.18		42	2.08	
C. V. %		9.37			18.79			6.15			8.55			12.01	

TABLEAU 2

BOKETA

RENDEMENTS

TRAITEMENTS	Essais sur maïs			Essais sur cotonnier			EFFET GLOBAL
	1954 A	1955 A	Moyenne	1954-5	1955-6	Moyenne	
N	2409	1431	1920	785	805	795	128.4
S	2302	1364	1833	658	784	721	119.6
P	2293	1626	1960	755	691	723	124.1
K	2403	1473	1983	729	848	783	130.0
Ca	2310	1289	1800	730	758	744	120.3
Mg	2248	1376	1812	674	716	695	116.3
Té	2044	895	1470	601	658	623	106
A	2.13	6.88		6.80	6.05		
C	4.04	4.51		3.48	6.37		

Analyse de la variance.

	Essais sur maïs						Essais sur cotonnier					
	1954			1955 B			1954-5			1955-6		
TRAITEMENTS	7	8.24	5.8^{+}	7	21.01	6.11^{+++}	6	3.21	1.64()	7	8.02	3.72^{++}
Trait. vs. Té.	1	39.19		1	121.92	35.5^{+++}	1	9.94	5.07^{+}	1	36.22	16.7^{+++}
	1	7.63		1						1	6.63	$3.07(^{+})$
An. vs Cat.	1	0.10		1	3.85	1.12()	1	.56		1	.22	
Diff. An.	2	1.20		2	5.36	1.56()	2	3.55	1.81()	2	2.92	1.35()
Diff. Cat.	2	4.67		2	2.42	.70	2	.82		2	3.60	1.67()
ERREUR	49	6.50		49	3.43		42	1.95		49	2.15	
C. V. %		18.66			23.86			18.86			20.31	

TABLEAU 3.

GANDAJIKA

RENDEMENTS

TRAITEMENTS	Essais sur maïs			Essais sur cotonnier			EFFET GLOBAL
	1954-5	1955-6	Moyenne	1955 A	1956 A	Moyenne	
N	2837	2622	2730	1123	1082	1102	134.3
S	3206	1362	2534	923	968	945	119.8
P	3225	1792	2509	958	935	946	119.3
			2593				
K	3388	2226	2807	1078	1010	1044	132.5
Ca	3072	1971	2521	993	935	964	120.7
Mg	3434	1904	2714	1190	1041	1113	134.7
			2680				
Té	2746	1403	2074	887	721	804	100
A	5.44	16.88		8.10	5.86		
C	4.58	5.26		6.31	4.05		

Analyse de la variance

	Essais sur maïs						Essais sur cotonnier					
	1954-5			1955-6			1955 A			1956 A		
TRAITEMENTS	7	30.93	9.42^{+++}	7	55.92	10.58^{+++}	7	14.31	6.01^{+++}	6	10.82	7.61^{+++}
Trait. vs Té.	1	116.18	35.4^{+++}	1	153.09	28.9^{+++}	1	52.69	22.1^{+++}	1	50.84	35.8^{+++}
	1			1			1					
An. vs Cat.	1	27.45	8.3^{++}	1	.48		1	8.75	$3.67^{(+)}$	1		
Diff. An.	2	21.03	6.4^{++}	2	83.17	15.73^{+++}	2	9.16	3.85^{+}	2	4.71	3.31^{+}
Diff. Cat.	2	15.25	4.64^{++}	2	7.81	1.47()	2	7.84	3.29^{+}	2	2.34	1.64()
ERREUR	49	3.28		49	5.28		49	2.38		42	1.42	
C. V. %		4.2			16.56			18.29			12.57	

Tableau 4.

Lubarika

Rendements

Traitements	Essais sur maïs			Essais sur cotonnier			Effet global
	1955 A	1956 A	Moyenne	1955 A	1956 A	Moyenne	
N	3643	4029	3836	1273	1160	1217	104.6
S	3545	4193	3869	1263	1166	1214	105.0
P	3348	3932	3640	1224	1004	1114	97.5
K	3578	4042	3810	1167	1162	1164	102.0
Ca	3759	3837	3798	1231	1072	1151	101.3
Mg	3477	4044	3760	1243	1152	1198	102.8
Té	3517	3764	3640	1291	1051	1171	100
A	3.11	2.32		1.55	6.35		
C	2.85	2.30		2.58	3.35		

Analyse de la variance

	Essais sur maïs						Essais sur cotonnier					
	1955 A			1956 A			1955 A			1956 A		
Traitements	6	6.98	.90	6	6.58	2.26(1)	6	1.32	.81	6	3.50	1.12()
Trait. vs Té.	1	.47		1	16.90	5.81	1	2.25	1.3()	1	3.15	1.00()
An. vs Cat.	1	5.46	.71	1	2.85		1	1.90	1.17()	1	.40	
Diff. an.	2	9.47	1.22()	2	5.44	1.87()	2	.53		2	0.75	2.16()
Diff. cat.	2	8.51	1.10()	2	.44		2	1.34		2	1.96	
Erreur	42	7.72		42	2.91		42	1.62		42	3.13	
C. V. %		10.85			6.81			10.25			15.9	

Tableau 5.

Kaniama

Rendements

Traitements	Essais sur maïs 1954-5	Essais sur maïs 1955-6	Essais sur maïs Moyenne	Essais sur tabac 1945-5	Essais sur tabac 1955-6	Essais sur tabac 1956-7	Essais sur tabac Moyenne	Effet global	Essai sur tabac sur sol différent
N	3303	3860	3581	581	1319	1657	1185	146.9	1321
S	2900	2924	2912	538	1242	1506	1095	127.5	1009
P	2765	3050	2908	557	1210	1571	1112	128.4	943
			3133						
K	3001	3665	3333	558	1302	1664	1174	141.1	1253
Ca	2951	3259	3105	564	1282	1522	1123	133.2	1187
Mg	3235	3453	3344	530	1279	1727	1178	141.6	1259
			3260						
Té	2327	2477	2402	468	920	1066	818	100	570
A	7.00	11.84		2.65	3.28	3.35			14.04
C	3.75	3.97		2.41	0.73	4.70			2.48

Analyse de la variance

	Essais sur maïs 1954-5			Essais sur maïs 1955-6			Essais sur tabac 1954-5			Essais sur tabac 1955-6			Essais sur tabac 1956-7			Essais sur tabac 1956-7′		
Traitements	7	47.61	3.96^{++}	7	93.03	8.92^{++}	7	0.730	5.55^{++}	7	5.54	13.12^{++}	7	13.70	28.89^{+++}	7	18.31	63.7^{++}
Trait. vs Té.	1	254.84	21.2^{+++}	1	415.07	39.8^{+++}	1	4.456	33.8^{+++}	1	37.20	88.0^{+++}	1	88.12	185.3^{+++}	1	105.19	366.1^{+++}
	1	5.06		1	10.56	1.01	1	.003		1	.01		1	.01		1	.03	
An. vs Cat.	1	2.80		1	17.16	1.6()	1	.041		1	.28		1	1.07	2.25()	1	6.02	20.98^{++}
Diff. an.	2	27.30	2.77()	2	89.91	8.62^{++}	2	.180	1.36()	2	.62	1.48()	2	1.15	2.43()	2	8.13	28.32^{++}
Diff. cat.	2	7.99		2	14.32	1.37()	2	.127		2	.03		2	2.20	4.62^{+}	2	.31	1.10
Erreur	49	12.01		49	10.42		42	.131		42	.42		42	.47		42	.28	
C. V. %		18.42			15.55			9.71			10.37			9.36			10.57	

TABLEAU 6.

KISOZI

RENDEMENTS.

TRAITEMENTS	Essais sur maïs 1954-5	Essais sur maïs 1955-6	Essais sur maïs Moyenne	Essais sur froment 1955 A	Essais sur froment 1956 A	Essais sur froment Moyenne	EFFET GLOBAL	Essai sur orge 1956 A
N	951	2207	1579	848	138	493	229.5	224
S	1273	2342	1807	820	206	513	247.6	285
P	1458	2418	1938	1148	441	794	336.9	523
			1774			600		
K	1198	1954	1576	711	306	509	234.0	86
Ca	1384	2510	1947	798	230	514	255.5	232
Mg	1412	2164	1788	581	294	437	224.3	114
			1770			486		
Te	536	1313	925	232	110	171	100	37
A	15.02	3.30		14.76	45.60			34.60
C	6.68	9.06		10.97	11.25			40.80

Analyse de la variance.

	Essais sur maïs 1954-5			Essais sur maïs 1955-6			Essais sur froment 1955 A			Essais sur froment 1956 A			Essai sur orge 1955 A		
TRAITEMENTS	6	31.19	19.31+++	6	46.94	4.73+++	6	22.66	16.72+++	6	3.64	2.55+	6	7.62	2.14
Trait. vs Té.	1	136.95	84.6+++	1	224.15	22.6+++	1	85.01	62.7+++	1	6.28	1.39+	1	10.63	2.98
An. vs Cat.	1	4.70	2.90()	1	5.56		1	25.12	18.5+++	1	.00		1	17.30	4.85+
Diff. an.	2	19.00	11.7+++	2	3.28		2	9.49	7.0++	2	7.27	5.09+	2	7.16	2.00()
Diff. cat.	2	3.90	2.41()	2	22.69	2.28()	2	3.42	2.5()	2	.48		2	1.73	
ERREUR	42	1.61		42	9.91		42	1.35		42	1.43		30	3.56	
C. V. %		18.04			24.6			26.38			80.8.			146.7	

Tableau 7.

Nioka

Rendements.

Traitements	Essais sur maïs			Essais sur pâture			Effet global
	1954-5	1955-6	Moyenne	1955	1955	Moyenne	
N	4112	3898	4005	4716	4627	4716	117.7
S	4308	3905	4106	4507	4152	4507	116.2
P	4285	4065	4175	4774	4060	4774	120.8
			4095				
K	4090	3700	3895	4957	4310	4957	119.5
Ca	4422	3885	4153	5711	3754	5711	133.2
Mg	4576	3863	4220	5088	4181	5088	125.6
			4089				
Té	3811	3673	3742	3671	3157	3671	100
A	1.94	1.83		2.26	5.41		
C	4.16	2.03		5.83	5.35		

Analyse de la variance.

	Essais sur maïs						Essais sur pâture					
	1954-5			1955-6			1955			1955		
Traitements	6	17.95	3.14^{++}	6	5.11	3.26^{++}	6	26851	8.47^{+++}	6	15302	3.33^{+}
Trait. vs Té.	1	58.31	10.1^{+++}	1	11.10	7.0^{+++}	1	99478	31.4^{+++}	1	62891	13.71^{+++}
An. vs Cat.	1	7.06	1.2()	1	8.54	5.4^{+}	1	36138	11.4^{+++}	1	4120	
Diff. an.	2	3.32		2	2.58		2	1381		2	6477	1.41()
Diff. cat.	2	17.83	$3.12(^{+})$	2	2.94	1.64()	2	11365	3.58^{+}	2	5924	1.29()
Erreur	42	5.71		42	1.56		30	3169		30	4586	
C. V. %		9.42			5.40			11.78			16.78	

Tableau 8.

M'Vuazi

Rendements.

Traitements	Essais sur maïs			Essais sur arachide			Effet global
	1955-6	1956-7	Moyenne	1955-6	1956-7	Moyenne	
N	2668	2497	2582	1487	1263	1375	121.5
S	2536	1920	2228	1373	1214	1293	108.8
P	2497	1863	2180	1335	1187	1261	106.2
			2330			1309	
K	2323	1906	2114	1323	1204	1263	104.6
Ca	2649	2391	2520	1380	1234	1307	117.2
Mg	2597	2313	2455	1386	1204	1295	115.0
			2363			1288	
Té	2140	1521	1830	1537	1161	1349	100
A	2.63	12.85			2.29		
C	5.26	9.00			1.09		

Analyse de la variance.

	Essais sur maïs						Essais sur arachide		
	1955-6			1956-7			1955-6		1956-7
Traitements	6	9.20	3.06^{+}	6	30.84	8.44^{++}	7	1.85	non dépouillé statistiquement
Trait. vs Té.	1	35.26	11.72^{++}	1	84.52	23.1^{++}	1	7.37^{++}	
							1		
An. vs Cat.	1	.73		1	4.55	1.24()	1		
Diff. an.	2	2.00		2	30.87	8.45^{++}	2	4.2^{+}	
Diff. cat.	2	7.61	2.53()	2	17.12	4.68^{+}	2		
Erreur	42	3.00		42	3.65		49		
C. V. %		12.45			16.6			11.1	

TABLEAU 9.

Coefficient de corrélation de rang.

Situations		Recherche d'identité: entre les deux répétitions de la première espèce	Recherche d'identité: entre les deux répétitions de la seconde espèce	Recherche d'identité: entre les deux espèces végétales	Recherche d'identité: entre deux espèces végétales quelconques	Recherche de différence entre deux sols différents dans la même situation écologique
Bambesa	maïs	.8572++				
	coton		.8572++			.5715
	maïs-coton			.9643++		
Boketa	maïs	.4286				
	coton		.3487			
	maïs-coton			.9286++		
Lubarika	maïs	.0163				
	coton		.0000			
	maïs-coton			.5715		
Kisozi	maïs	.6429				
	froment		.3215			
	maïs-froment			.8215++		
	orge-maïs				.8572++	
	orge-froment				.8572++	
Gandajika	maïs	.2858				
	coton		.8572++			
	maïs-coton			.7500+		
Kaniama	maïs	.9286++				
	tabac		.8215++			
	maïs-tabac			.9643++		
	tabac					.7858++
M'Vuazi	maïs	.9643++				
	arachide		.1429			
	maïs-arachide			.9429++ (1)		
Nioka	maïs	.3929				
	pâture		.2500			
	maïs-pâture			.6786		
Moyennes (2)		.7550	.6296	.9017	.8572	.6939

1. calculé témoin exclu. — 2. Calculées Lubarika exclu.

TABLEAU 10. — Effets globaux.

TRAITEMENTS	BAMBESA	BOKETA	GANDAJIKA	LUBARIKA	KISOZI	KANIAMA	M'VUAZI	NIOKA
N	134,0	128,4	134,3	104,6	229,5	146,9	121,5	117,7
S	131,4	119,6	119,8	105,0	247,6	127,5	108,8	116,2
P	144,8	124,1	119,3	97,5	336,9	128,4	106,2	120,8
K	147,2	130,0	132,5	102,0	234,0	141,1	104,6	119,5
Ca	128,8	120,3	120,7	101,3	255,5	133,2	117,2	133,2
Mg	141,1	116,8	134,7	102,8	224,3	141,6	115,0	125,6
Témoin	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

TABLEAU 11. — Variation des rendements exprimés en effets factoriels moyens selon les critères écologiques.

FACTEURS ÉCOLOGIQUES	Groupe anionique				Groupe cationique			
	N	S	P	Effet moyen	K	Ca	Mg	Effet moyen
A. édaphique	6,17	2,20	1,24	3,137	2,45	2,55	1,92	1,257
B. végétal	1,92	0,92	1,30	1,354	1,38	0,69	1,64	0,358
C. climatique	1,80	1,91	3,17	1,747	1,73	1,25	1,00	0,748

TABLEAU 12.

Variabilité propre à chaque élément ou groupe chimique selon les critères écologique choisis.

FACTEURS ÉCOLOGIQUES	Groupe anionique					Groupe cationique				
	N	S	P	Moyenne des précédents	Isolément	K	Ca	Mg	Moyenne des précédents	Isolément
A. édaphique	93,8	30,9	11,2	45,3	33,8	37,2	34,4	36,1	35,9	18,4
B. végétal	4,4	5,8	2,4	4,2	1,0	9,1	4,1	19,9	11,0	0,9
C. climatique	13,5	1,9	23,1	12,8	12,5	18,1	9,7	10,0	12,6	6,4
Valeurs moyennes correspondantes	5,719	4,536	6,000	5,428	5,429	4,441	5,164	3,565	4,390	4,387

TABLEAU 13.

Comparaison des effets directs et indirects sur la base des coefficients d'effets moyens par groupe chimique.

Situations		Groupe anionique			Groupe cationique		
		Effet direct	Effet indirect	Moyenne	Effet direct	Effet indirect	Moyenne
GANDAJIKA	premier cas	8,10	4,90	6,50	6,31	5,01	5,66
	second cas	5,44	9,63	7,50	4,58	9,47	7,02
	moyenne	6,77	7,26	7,01	5,45	7,24	6,34
BOKETA	premier cas	2,13	4,56	3,31	4,04	8,28	6,16
	second cas	6,88	9,92	8,40	4,51	5,95	5,23
	moyenne	4,51	7,24	5,87	4,28	7,11	5,69
KISOZI	premier cas	15,02	22,54	18,78	6,68	9,31	8,00
	second cas	3,30	2,11	2,70	9,06	8,84	8,95
	troisième cas	14,76	25,66	20,21	10,97	2,23	6,60
	quatrième cas	45,60	22,26	33,93	11,25	2,08	6,67
	moyenne	19,67	18,14	18,90	9,49	5,61	7,55

Bibliographie

Botanique

S. Ross-Craig. — *Drawings of British Plants*, 28 planches dessinées, G. Bell and Sons, London, Prix : 9 s. 6 d.

Ce fascicule contient 28 planches dessinées de Composées ; chacune des planches comprend une vue générale de la plante, la partie supérieure de la tige florale, des détails sur la fleur et le fruit.

Chimie

B. Haynes. — *Qualitative Organic Analysis*. — Cleaver-Hume Press Ltd, London, 1961.

Ce livre constitue un manuel de laboratoire parfaitement adapté à des exercices se rapportant à la chimie analytique organique et aussi un guide précieux pour les non initiés ayant à résoudre des problèmes d'identification de composés organiques.

Le côté original de ce livre est la présentation d'une série de tests préliminaires pour tous les composés. Ceci permet une vérification immédiate des résultats et fournit suffisamment de renseignements pour que la classification puisse être faite avec une probabilité raisonnable.

Chaque étape de la recherche est bien séparée dans le livre, enfin sa présentation est impeccable.

M. Renard.

D. R. Laurence, R. Moulton. — *Clinical Pharmacology*, 490 p. — J. and A. Churchill Ltd, London, 1960. Prix : 32 s.

Cet important volume est destiné en ordre principal aux médecins mais l'ingénieur agronome peut y trouver des données intéressantes que ce soit au point de vue général ou en zootechnie.

Un chapitre intéressant envisage la création de nouveaux médicaments et les essais thérapeutiques. Les nouveaux médicaments sont en général obtenus par des laboratoires pharmaceutiques commerciaux ; le hasard joue un rôle important dans ce domaine quoique une meilleure connaissance entre la structure chimique et l'action pharmacologique permette maintenant un développement plus rationnel des recherches.

Les essais thérapeutiques présentent une grande complexité ; le plan de l'essai doit être dressé avec soin ; des facteurs psychologiques peuvent intervenir. En même temps que le médicament est essayé sur certains malades, un composé

inactif de même aspect est distribué à d'autres malades mais ceux-ci et les observateurs doivent ignorer quels sont ceux qui ont reçu l'un ou l'autre.

Le chapitre consacré à la Chimiothérapie contient quelques données générales importantes. La résistance bactérienne pose des problèmes complexes ; certaines bactéries ne deviennent jamais résistantes alors que d'autres le deviennent rapidement ; par exemple les pneumocoques et streptococcus pyogenes ne développent jamais de résistance à la pénicilline tandis que les staphylocoques deviennent rapidement résistants. Les gonocoques sont rapidement devenus résistants aux sulfamides ; en dix ans, le taux de souches résistantes a monté de 30% à plus de 70%.

La résistance bactérienne peut être de deux types : 1) naturelle : le métabolisme de l'organisme n'est pas affecté par le médicament ou 2) acquise : cette acquisition est probablement due en ordre principal à des mutations spontanées.

La majeure partie de l'ouvrage est consacrée à l'étude des médicaments et à leur utilisation en médecine humaine dans les diverses maladies.

Cytologie

J. R. Baker. — *Cytological Technique*, 150 p., Methuen and C°, London, Fourth Edition, 1960. Prix : 15 s.

Ce livre constitue la quatrième édition complètement réécrite d'un ouvrage qui parut pour la première fois en 1933. Le but de l'auteur est de donner une interprétation rationnelle en termes de physique et de chimie des principaux procédés de la technique microscopique.

Après un rappel de la structure cellulaire, l'auteur passe à l'étude de la fixation, du rôle qu'elle joue et des propriétés des divers fixateurs coagulants et non coagulants ; pour chacun de ces composés, l'auteur étudie les propriétés physiques, l'ionisation, le potentiel d'oxydoréduction, les réactions avec les protéines, avec les acides nucléiques, avec les lipides et avec les hydrates de carbone, la vitesse de pénétration, la contraction des tissus, le durcissement des tissus, l'effet sur l'aspect microscopique des préparations.

Au chapitre de l'inclusion, les milieux suivants sont étudiés : paraffine, gélatine et butylméthacrylate ; les avantages et les inconvénients de chacune des méthodes sont mis en évidence.

L'action des colorants est ensuite abordée par des considérations générales sur les causes des phénomènes de coloration en cytologie : action des chromophores, des auxochromes et des modificateurs ; les principaux colorants sont passés en revue ainsi que l'action des mordants dont l'action est utile ou indispensable selon les cas. Un dernier chapitre est consacré au montage des préparations.

L'intérêt principal de ce livre réside dans le fait qu'il n'est pas uniquement descriptif mais que l'auteur s'attache à rechercher les causes et à expliquer l'origine des phénomènes qui se passent au cours du travail de préparation microscopique.

Droit rural

V. Renier. — *Le Droit à la Campagne, Guide juridique de l'agriculteur*, Le Droit

à la campagne, Avenue des Combattants, 38, Gembloux. 1960. Prix : 140 fr. Compte Chèque Postal n° 458.21.

L'agriculteur d'aujourd'hui se trouve confronté avec de nombreux problèmes qui exigent de lui des connaissances de plus en plus développées. Il en est ainsi dans tous les domaines et en particulier sur le plan juridique. La multiplication des lois et des règlements a atteint la vie à la campagne, et l'activité professionnelle du cultivateur soulève bien des questions qu'il importe souvent de résoudre dans un bref délai.

C'est pourquoi il était très utile de mettre à portée de main des gens de la campagne, un ouvrage qui puisse les avertir des multiples difficultés qu'ils peuvent rencontrer, et leur indique les moyens de les prévenir ou de les résoudre.

Cet ouvrage, qui comble une lacune, est sorti de presse récemment. Il s'agit *du Droit à la campagne*, Guide juridique de l'agriculteur, par M. Victor Renier, Avocat, Licencié en Sciences Politiques et Sociales.

L'auteur s'est déjà signalé par ses chroniques de droit rural à l'I. N. R., et par de nombreuses études, notamment de droit agricole, qui ont paru dans des revues spécialisées.

Le livre qu'il publie fait le point de la situation actuelle et constitue une mise à jour qui était indispensable dans cette branche du droit.

L'exposé des lois, qui se sont multipliées au cours des récentes années, est toujours complété par des décisions judiciaires des diverses régions du pays.

L'auteur traite notamment le bail à ferme, les expropriations, les achats d'immeubles, de matériel, de semences, de bétail, les assurances agricoles, les conflits familiaux, les querelles de voisinage, le Code de la route, l'amélioration de l'élevage bovin, les pigeons, les animaux nuisibles, les silos de pulpes et diverses autres réglementations.

Tous ceux qui s'intéressent aux différends survenant dans le domaine agricole trouveront dans cet ouvrage une source abondante précise et actuelle de renseignements.

Économie rurale

K. Dexter, D. Barber. — *Farming for Profits*, 300 p., Penguin Books, Harmondsworth, Middlesex, 1961, Prix : 5 s.

Cet ouvrage constitue à la fois un livre d'économie rurale et de comptabilité ; il est publié dans une collection populaire et bon marché, dans un style agréable et non dépourvu d'humour. Il est regrettable que l'équivalent, adapté à nos conditions économiques n'existe pas en français.

Ce livre indique les moyens pratiques de faire fructifier une exploitation agricole ; il montre comment déceler les faiblesses qui font péricliter une ferme et comment y apporter les modifications nécessaires.

Il explique les objectifs à poursuivre dans une exploitation déterminée et les systèmes de gestion qui doivent être appliqués en fonction du milieu et des conditions économiques. Certains cas particuliers sont envisagés en détail : la production laitière, la production bovine, ovine et porcine, la volaille, la ferme ne comportant que des cultures, la petite ferme, la ferme des régions montagneuses.

Ce livre décrit également le calcul des rendements, des frais de production et du revenu net ; il contient enfin des informations sur les services officiels qui sont

à la disposition du fermier anglais pour l'aider dans la gestion économique de son exploitation.

E. F. Nash, E. A. Attwood. — *The Agricultural Policies of Britain and Denmark*, 94 p., Land Books, London, 1961. Prix : 15 s.

Ce livre se rapporte à l'étude des politiques agricoles de la Grande-Bretagne et du Danemark en relation avec le commerce anglo-danois. Une telle analyse est importante à un moment où les politiques agricoles nationales constituent un problème majeur aussi bien dans la Zone de libre échange que dans le Marché Commun.

Le Danemark est un des plus grands exportateurs de produits agricoles au monde ; cependant l'agriculture n'occupe pas plus de 20 % de la totalité de la main d'œuvre du pays, alors que le volume de ses exportations agricoles atteint 60% du total exporté. Les prix et les marchés des pays importateurs ont de ce fait une grande importance pour l'économie danoise ; les unions économiques qui se constituent sont suivies attentivement par le Danemark qui fait partie comme l'Angleterre de la Zone de libre échange.

L'agriculture constitue le domaine le plus difficile à intégrer dans des communautés plus grandes que les limites nationales. Le Danemark constitue une exception à la tendance générale qui fait que, dans la plupart des pays, l'agriculture dépend économiquement du soutien de l'État ; bien que le développement de l'agriculture danoise soit guidée par la politique de l'État, sa prospérité a toujours dépandu essentiellement des efforts des fermiers danois eux-mêmes et de leurs institutions coopératives créées pour la vente de leurs produits. Les mesures de soutien prises par d'autres États n'ont cependant pas manqué d'avoir des répercussions sur l'agriculture danoise.

En établissant cette étude, des relations économiques anglo-danoises dans le contexte des nouveaux groupements européens, les auteurs n'essayent pas de défendre les intérêts de l'un ou l'autre des deux pays, ils essayent de donner une vue objective des questions discutées et des positions relatives de la Grande Bretagne et du Danemark.

Les auteurs examinent le commerce et l'agriculture danois au cours du 19e siècle, les échanges anglo-danois au cours du 20e siècle, la constitution du Marché Commun et de la Zone de libre échange, le commerce international à l'intérieur de ce deuxième groupe, le marché agricole britannique à partir de 1960, les problèmes posés par la politique agricole anglaise, la situation économique de l'agriculture en Grande-Bretagne et au Danemark.

Les auteurs estiment que les relations anglo-danoises ne peuvent se situer sur un niveau satisfaisant aussi longtemps que la Grande Bretagne refuse aux exportations de leur partenaire le même traitement qu'elle attend que celui-ci donne à ses produits ou continue à subsidier ses producteurs en compétition avec les producteurs danois. Le maintien d'une protection agricole handicape sérieusement l'établissement d'une zone de libre échange, impose des charges élevées à la communauté, constitue un obstacle aux changements qui s'imposent dans l'intérêt même de l'agriculture.

En conclusion les auteurs estiment indispensable une modification de la politique agricole anglaise.

Évolution

B. Willey. — *Darwin and Butler, Two Versions of Evolution*, 116 p. Chatto and Windus, London, 1960. Prix : 16 s.

Le livre débute par un exposé de la théorie de l'évolution de Darwin, de l'attitude de celui-ci vis-à-vis de la religion et de ses vues sur les implications théologiques de sa théorie. L'auteur donne ensuite une esquisse de l'histoire des théories de l'évolution avant Darwin ainsi que quelques réactions du 19e siècle aux théories de Darwin.

L'auteur discute les critiques que Samuel Butler fit à la théorie de Darwin, les efforts qu'il fit pour réhabiliter Lamarck et Erasme Darwin et renforcer les conceptions que l'« Origine des Espèces » avait fortement secouées.

Géographie agricole

J. Papadakis. — *Geografia agricola mundial*, 647 p., 58 cartes plus 9 planches et graphiques hors texte. Salvat Editores, S. A., Barcelone, Madrid.

Écrit en espagnol et publié dans la collection agricole Salvat, ce copieux ouvrage présente un tableau complet et détaillé à souhait de l'agriculture mondiale. A la lumière des acquisitions les plus récentes de la physiologie végétale, l'auteur examine successivement l'influence du climat et du sol sur les plantes. Divers chapitres sont consacrés à la classification écologique des cultures, la caractérisation écologique des climats, l'intensité et le rythme de la croissance végétale, la géographie de la végétation, la formation et la géographie des sols, l'évolution et les problèmes de l'agriculture dans le monde, la géographie des climats et les grands groupes climatiques avec leurs aptitudes agricoles.

Suit l'étude des différentes régions du globe et leur caractérisation au point de vue de la production agricole, le tout illustré par de nombreuses cartes. Un chapitre traite de la distribution mondiale des diverses productions agricoles, fruitières, forestières et animales, dont plusieurs sont reportées sur des planisphères ad hoc.

Enfin, l'ouvrage comprend, outre une bibliographie touffue, une série de tableaux réunissant les localités représentatives des différentes régions agricoles du monde et leurs caractéristiques écologiques, un index alphabétique des matières et un index géographique.

Par l'abondance, la diversité et la précision de sa documentation, ce travail consciencieux sera de grande utilité pour les agronomes, les professeurs et en général pour tous ceux qui s'intéressent aux choses de l'agriculture.

G. Van Hagendoren.

Horticulture

M. Haworth-Booth. — *The Hydrangeas* ; 185 p. 23 pl. hors texte, Constable and Co. Ltd., 10 Orange St., London WC. 2, 1959, Prix : 21 s.

Les jardins modernes font de plus en plus appel aux arbustes pour constituer l'essentiel de leur parure. Les arbustes sont précieux parce qu'ils demandent peu

d'entretien ; malheureusement, relativement peu d'entre eux fleurissent en été ou à l'arrière saison.

Le livre de M. Haworth-Booth nous donne toutes les indications pour combler très heureusement cette lacune au moyen des hydrangées.

Cet ouvrage très complet sur le sujet sera précieux à plus d'un titre. Il donne en effet l'histoire, la classification, la description et des indications sur la culture de plus de 80 espèces botaniques ; il décrit plus de 300 variétés horticoles dérivées de x Hydrangea macrophylla et quelques variétés de H. Serrata ; il en explique la culture et l'emploi aussi bien en pleine terre qu'en pot. Des indications sur l'hybridation, la multiplication et les maladies complètent un livre qui enrichira heureusement la bibliothèque de l'amateur des plantes.

G. Neuray.

The Grower Annual 1961, 168 p., Crosby Lockwood and Son, Ltd., London. Prix : 25 s.

Le but de l'annuaire de l'horticulteur est de constituer un guide et en même temps d'essayer d'indiquer les tendances futures dans ce domaine.

L'édition de 1961 est subdivisée en huit sections et réunit les articles d'une soixantaine d'auteurs.

La section « Les buts et les moyens » étudie des questions générales : les tendances des dix prochaines années, l'étude du travail, les recherches sur les sols, la mécanisation, l'irrigation, le financement, la législation, les assurances. D. Heivitt y parle notamment de la protection des sélectionneurs ; cette question préoccupe actuellement beaucoup de pays ; si le droit de brevet est reconnu aux inventions industrielles, il n'en est pas encore de même pour les obtentions végétales. Le Comité du Commerce des Semences a étudié cette question et propose l'attribution de droits d'auteurs aux sélectionneurs ; cette mesure serait de nature à favoriser les recherches et pourrait changer la situation actuelle où 50 à 65% des variétés de légumes cultivées en Angleterre sont étrangères.

La section « Fruits » réunit divers articles sur les pommiers, les fraisiers, les coings. G. G. Guttridge relate des recherches sur la conservation des stolons de fraisiers par le froid. Le procédé est simple, les stolons liés en bottes sont placés dans des sachets en polythène à -4,5° C- 5,5° C. Cette technique permet de conserver les stolons entre le moment de l'arrachage et celui de la vente mais elle permet aussi de conserver les stolons d'une saison à l'autre.

La section « Fleurs » attire l'attention du lecteur sur les asters, les roses, les œillets, les chrysanthèmes, les dahlias, les delphiniums, les géraniums.

La section « Légumes » comprend des exposés sur des légumes communs mais aussi sur des légumes peu connus. G. H. Brenchley y expose une technique de désinfection à l'eau chaude (trempage de 25 minutes dans de l'eau à 50° C.) des semences de céleri contre la septoriose.

La section « Serres » réunit plusieurs articles sur la culture du concombre, du fraisier, de la tomate et de la rhubarbe.

La section « Peuples et régions » est consacrée à certains aspects de l'horticulture et de l'agriculture en Hollande, aux États-Unis et en Russie.

La section « Fongicides, Insecticides et Herbicides » contient notamment un exposé de G. L. Hey, M. A. et K. Marshall sur les composés chimiques nouveaux intéressant l'horticulture.

La section « Parasites végétaux et animaux » envisage diverses questions : tacheture de la tomate, chlorose, virus du cerisier, maladies du concombre, pucerons de la laitue.

Cet ouvrage abondamment illustré est aussi riche que varié en matières ; il est susceptible de retenir l'intérêt du praticien et de l'amateur.

Microbiologie

E. Hawker, A. H. Linton, B. F. Folkes et M. Carllie. *An Introduction to the Biology of Micro-Organisms*, 452 p., Edward Arnold, London. 1960.

Les auteurs présentent leur ouvrage comme une introduction générale à la Morphologie, à la Physiologie et à l'Écologie des principaux groupes microbiens. Ces trois points font l'objet des chapitres principaux du livre.

Il s'agit d'une vue d'ensemble, concise, mais complète, sur l'univers microbien, dans son ensemble, c'est-à-dire comprenant, outre les bactéries et les champignons filamenteux, les protozoaires, les algues et les virus.

On peut dire que les auteurs n'ont laissé de côté aucun aspect de la Microbiologie *sensu lato*, qu'il s'agisse de morphologie ou de taxonomie, de physiologie ou de biochimie, de pathogénie animale ou végétale, de prophylaxie ou d'hygiène alimentaire, de microbiologie écologique ou de microbiologie industrielle. Un dernier chapitre traite de quelques techniques microbiologiques.

Cette universalité dans les sujets traités ou esquissés confère à l'ouvrage l'un de ses attraits majeurs, mais offre peut-être une certaine faiblesse, dérivant d'un excès de concision, dans certains cas.

Mais tel qu'il se présente, avec son illustration abondante et de qualité, et avec ses nombreuses références bibliographiques, l'ouvrage constitue une très heureuse tentative, sortant des sentiers battus, d'embrasser en une large vue panoramique les multiples aspects de la Microbiologie.

P. Manil.

Politique scientifique

Rapport sur le développement de la science occidentale, 26 p., Fondation Universitaire, Bruxelles, 1960.

L'idée d'entreprendre une étude originale sur les moyens propres à renforcer le potentiel scientifique du Monde Occidental est née des échanges de vues que le Comité Scientifique de l'Organisation du Traité de l'Atlantique Nord a consacrés à ce sujet.

Indépendamment des profits qu'elle procure, la science est l'élément fondamental de notre civilisation du 20e siècle. Le moyen classique de la faire progresser consiste à faciliter les échanges d'idées et de personnes ; la liberté de ces échanges crée un climat de compréhension et des liens entre les nations.

La science occidentale est soumise à des entraves qui dérivent des particularismes régionaux qui engendrent la diversité et l'indépendance des points de vue ; elle rencontre également des obstacles d'ordre matériel : insuffisance du financement, retard dans la construction des batiments, difficultés administratives, pénurie de professeurs qualifiés, pénurie de techniciens et d'artisans spécialisés, archa-

ïsme des Universités dans leur structure, pénurie de chaires professorales dans les universités, connaissance insuffisante des langues étrangères.

Le progrès de la recherche scientifique est lié en premier lieu aux mesures qui doivent être prises à l'échelon national ; ces mesures comportent notamment la mise en place d'une organisation centrale dont la fonction consiste à orienter la politique scientifique nationale, l'accroissement du nombre des chercheurs, la rénovation des structures des Universités qui doivent offrir aux jeunes chercheurs des carrières convenables.

A l'heure actuelle le progrès de la science postule aussi une collaboration à l'échelon international ; il est absolument indispensable de créer des centres internationaux d'enseignement et de recherche scientifique et des centres internationaux de documentation ; il faut aussi promouvoir les échanges internationaux de chercheurs et financer la recherche dans les pays en voie de développement.

Les applications de la science sont, pour tous les pays, un facteur vital de la prospérité nationale. Il ne faut cependant pas pratiquer une politique à courte vue et encourager seulement les recherches qui paraissent avoir des aboutissements pratiques immédiats ; la relation entre la recherche fondamentale et la recherche appliquée est souvent plus étroite qu'il ne paraît à une observation superficielle.

Sylviculture

Report on forest research 1958-59. 186 p. Her Majesty's Stationery Office, London, 1960. Prix : 9 s. 6d.

Le rapport des recherches effectuées en Angleterre, en 1958-1959 dans le domaine de la sylviculture contient : 1) les rapports des travaux effectués par l'équipe de chercheurs de la Commission forestière, 2) les rapports des recherches entreprises à la demande de la Commission forestière par les universités et d'autres institutions ; 3) les résultats de recherches individuelles.

Parmi les recherches effectuées, nous avons repris quelques points particulièrement intéressants.

Conservation des semences de hêtre : les semences de hêtre peuvent être séchées jusqu'à une teneur en eau de 9% et être conservées à + 2° C. pendant une durée de 22 mois sans aucune réduction de la vitalité ; en récipients fermés, des semences à 20-25 % de teneur en eau ont été conservées à -10° C. pendant 21 mois tout en conservant un pouvoir germinatif satisfaisant.

Herbicides : un certain nombre d'herbicides chimiques ont été testés en ce qui concerne leur effet sur les mauvaises herbes et les plants de conifères en couche ; aucun d'entre eux ne possède l'efficacité des huiles minérales ou white spirit ; les plastiques en polythène noir étendus sur le sol ne donnent pas de résultats satisfaisants à cause des difficultés de manipulation et de la suppression insuffisante des mauvaises herbes ; dans de nouvelles plantations de peupliers, de bons résultats ont été obtenus par une seule application de 4 lb de Monuron dans 100 gallons d'eau par acre.

Étude des provenances : les études poursuivies chez Pinus nigra, suggèrent que

le facteur provenance mérite de retenir l'attention ; des semences provenant de 3[e] génération en Belgique et en France pourraient présenter de l'intérêt.

Génétique forestière : la collection de matériel pour hybridation continue de s'accroître ; le nombre total d'« arbres plus » et d'« arbres spéciaux » s'élève à 2.700 ; les croisements inter et intraspécifiques se poursuivent sur pins, mélèzes, sapins.

Analyses statistiques : 426 expériences représentant 2730 analyses individuelles ont été entreprises ; une partie a été analysée au moyen d'un Computer Ferrante Pegasus qui était pour la première fois utilisé dans le travail statistique et qui permet une économie marquée de temps ; un certain nombre d'études ont pour but l'application de l'analyse d'essais complexes, de l'analyse de données de plantes perennes, de l'étude des courbes de croissance.

Mycologie du sol : cette étude inclut non seulement l'effet des champignons sur la croissance des arbres mais aussi leurs interactions ; la raison pour laquelle la stérilisation du sol des couches stimule la croissance des plantules de conifères demeure un mystère.

Le rapport contient au total 38 articles qui sont de nature à intéresser les spécialistes ; il comporte en plus une liste des expériences effectuées, une liste des chercheurs qui travaillent à la Commission de forêts et une liste des publications.

J. W. L. Zehetmayr. — *Afforestation of Upland Heaths.* 146 p., Edinburgh, Her Majesty's Stationery Office, 1960. Prix : 17 s. 6 d.

La conversion en forêt des landes des hautes terres est un problème qui à retenu l'attention de la Commission forestière de Grande-Bretagne depuis sa création en 1919. Des questions difficiles se sont présentées dès le début ; dès 1921, des essais furent établis pour étudier et mettre en pratique les meilleures techniques aptes à résoudre les problèmes rencontrés. Ces recherches se sont poursuivies depuis lors et à l'heure actuelle certains de ces problèmes sont résolus : les techniques de préparation du sol et de fertilisation sont mises en pratique, les espèces forestières les plus indiquées pour ces régions sont maintenant connues.

Ce Bulletin n° 32 de la Commission forestière résume tout le travail expérimental poursuivi de 1921 à 1957.

Les landes des hautes terres sont situées dans la moitié Est de l'Ecosse et dans certaines régions du Nord-Est de l'Angleterre ; la plupart de ces landes couvrent des collines en pente douce à des altitudes supérieures à 150 mètres où les précipitations atmosphériques atteignent 750 à 1.000 mm par an.

La couche supérieure de tourbe (Horizon Ao) est très acide, son épaisseur ne dépasse ordinairement pas 15 cm et atteint exceptionnellement 30 cm ; elle est formée principalement de Calluna ; elle est souvent recouverte d'eau au moins durant les mois d'hiver.

L'horizon lessivé A est souvent perméable ; son épaisseur varie entre 12 et 17 cm.

L'horizon B contient un dépôt de fer de quelques millimètres d'épaisseur qui forme une couche très dure imperméable à l'eau et impénétrable aux racines.

Le labour a été un facteur essentiel de progrès dans les régions envisagées. Ce travail du sol aère la tourbe et produit un milieu de plantation amélioré ; un

but qui doit être réalisé par le labour est aussi la destruction de la couche imperméable formé par le dépôt de fer ; le labour avec sous-solage s'est révélé à ce sujet plus efficace que le labour simple ; dès que cette couche imperméable est détruite, le régime de l'eau devient normal car celle-ci pénètre en profondeur. Après labour, les pertes à la plantation sont nettement moindres, la croissance des arbres est plus rapide, l'uniformité de croissance est meilleure ; on peut aussi utiliser des plants plus jeunes et par conséquent moins coûteux.

Les principales espèces utilisées dans ces régions sont mentionnées ci-après. *Pinus sylvestris* a une croissance relativement lente mais il peut surmonter la bruyère et croître dans des conditionsque ne tolère aucune autre espèce.

Pinus nigra s'est révélé très sensible aux conditions de plantation ; son emploi n'est plus recommandé.

Pinus contorta paraît intéressant pour les conditions les plus difficiles ; des doutes subsistent cependant au sujet de la valeur d'utilisation de son bois.

Larix decidua pourrait probablement convenir pour la culture en mélange avec le pin. *Larix leptolepis* joue un rôle important dans la conversion des landes mais seuls des essais de plus longue durée peuvent permettre de caractériser sa productivité. *Picea sitchensis* semble avoir de l'intérêt dans les zones à haute pluviosité et température basse.

La fumure au moyen d'engrais phosphaté (70-100 kg de P_2O_5 par hectare, au moment de la plantation) s'est révélée intéressante surtout dans les landes les plus pauvres ; dans les landes plus fertiles, les résultats sont moins marqués. 8 à 10 ans après la plantation l'excédent de développement par rapport aux arbres n'ayant pas reçu d'engrais, varie selon le milieu et selon les espèces : dans les situations les moins favorables : 7 à 15% mais en d'autres stations : 16 à 32%, 21 à 88%, 54 à 108%.

Cette publication contient encore des indications sur les méthodes de plantation, les plantations en mélange, la compétition des arbres avec la bruyère.

Une trentaine de photos illustrent ce livre qui constitue un beau résumé d'un travail d'expérimentation considérable.

Zoologie.

D. A. Bannerman. — *The Birds of the British Isles*, Vol. 9, 398 Pages, 26 planches en couleur. Oliver and Boyd, London, 1961.

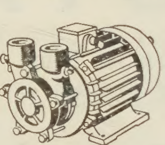
Le 9e volume de la série traite de familles appartenant à l'ordre des Charadriformes. Un 10e volume sera consacré aux autres familles du même ordre.

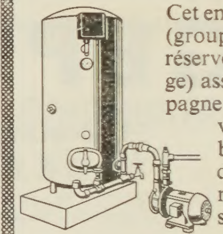
Ce livre, présenté d'une manière luxueuse, enchantera sans nul doute les ornithologistes de l'Europe continentale. Comme le rappelle l'auteur dans sa préface, aucun autre groupe n'a fourni autant d'espèces n'appartenant pas à l'avifaune de l'Europe occidentale, mais ayant atteint nos côtes tout à fait occasionnellement, venant d'Amérique ou de Sibérie. Les descriptions fort détaillées, les planches en couleur d'une grande beauté font de ce livre un ouvrage de référence de tout premier ordre.

La distribution géographique de chaque espèce est précisée en détails. On pourrait cependant regretter l'absence de cartes.

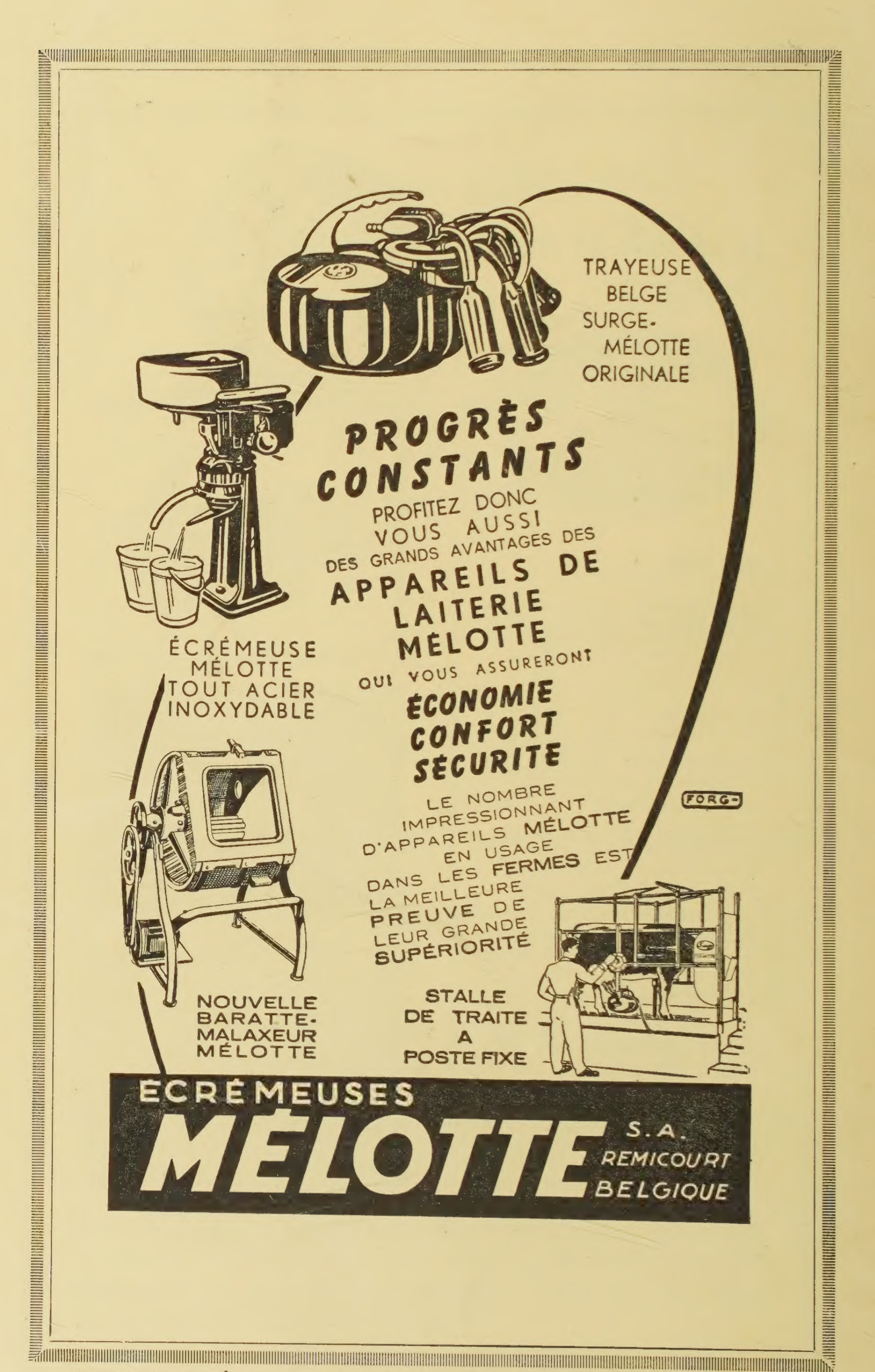
L'auteur a confié à des spécialistes avertis les chapitres consacrés à la nidification de maintes espèces. On relève plus particulièrement les contributions de G. SUTTON et N. EINBERGEN qui à elles seules pourraient assurer le succès de cet ouvrage.

W. DELVINGT.









IMPRIMERIE DES ÉDITIONS J. DUCULOT, S. A., GEMBLOUX (*Imprimé en Belgique*).